

## **HALAMAN JUDUL**

**THESIS - MN142532**

**JUDUL: Studi Variasi Perletakan *Foil* Belakang  
di Arah *Vertikal* dan Sudut Serang  
Untuk Meningkatkan Gaya Angkat dan  
Mengurangi Hambatan Kapal *Hydrofoil***

**APRIANSYAH**

**4114 203 010**

**DOSEN PEMBIMBING:**

**Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

**PROGRAM MAGISTER  
TEKNIK PRODUKSI DAN MATERIAL KELAUTAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2016**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

THESIS - MN142532

**JUDUL: Effects of Stern Foil Placement in the  
Vertical Direction and Angle of Attack  
on the Lift Force and Resistance of  
Hydrofoil High Speed Craft**

**APRIANSYAH  
4114 203 010**

**SUPERVISOR:  
Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.**

**POSTGRADUATE PROGRAMME  
MARINE MATERIAL AND PRODUCTION ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE ENGINEERING  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2016**

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# LEMBAR PENGESAHAN THESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (MT)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**APRIANSYAH**  
Nrp. 4114203010

Tanggal Ujian : 19 Juli 2016  
Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh :



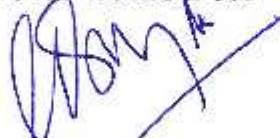
1. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc  
NIP. 19691231 200604 1 178

(Pembimbing)



2. Prof. Ir. I.K.A.P. Utama, M.Sc, Ph.D  
NIP. 19670406 199203 1 001

(Penguji)



3. Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng, Ph.D  
NIP. 19590505 198403 1 012

(Penguji)




4. Aries Sulisetyono, S.T., MAsc., Ph.D.  
NIP. 19710320 199512 1 002

(Penguji)



Direktur Program Pascasarjana,

  
Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D  
NIP. 19601202 198701 1 001

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan berkah, rahmat dan hidayahnya, sehingga penulisan thesis yang berjudul “Studi Variasi Perletakan *Foil* Belakang di Arah *Vertikal* dan Sudut Serang Untuk Meningkatkan Gaya Angkat dan Mengurangi Hambatan Kapal *Hydrofoil*” dapat diselesaikan.

Adapun maksud penulisan penelitian thesis ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan thesis ini banyak pihak yang telah membantu, atas segala bantuan dan dorongan semangat yang diberikan penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc., sebagai pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses penelitian.
2. Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc, Ph.D, Prof. Dr. Ir. Buana Ma'ruf, M.Sc, MM, dan Bapak Aries Sulisetyono, ST, M.Sc, Ph.D selaku penguji proposal penelitian tesis yang telah memberikan masukan dan mengarahkan penulis dalam persiapan proses penelitian.
3. Prof. Ir. I.K.A.P. Utama, M.Eng., Ph.D., Prof. Ir. Achmad Zubaydi, M.Eng., Ph.D., dan Bapak Aries Sulisetyono, ST, M.Sc, Ph.D selaku penguji sidang tesis yang telah memberikan penilaian dan masukan untuk kesempurnaan penelitian.
4. Kepala Program Pascasarjana Teknik Produksi dan Material Kelautan / Teknik Perkapalan Institut Teknologi Sepuluh Nopember beserta staf pengajar dan staf administrasi yang telah banyak membantu penulis selama menempuh masa studi.
5. Dekan Fakultas Teknologi Kelautan beserta staf administrasi yang telah banyak membantu penulis selama menempuh masa studi.

6. Ayahanda dan Ibunda tercinta, yang telah banyak memberikan bantuan moril dan materil serta doa yang tak ternilai harganya, selama penulis menimba ilmu.
7. Seluruh pimpinan dan staf Laboratorium Hidrodinamika Jurusan Perkapalan FTK ITS yang telah banyak membimbing dan membantu penulis selama menimba ilmu.
8. Saudara Sutiyo ST., MT dan Saudara Ahmad Baidowi, ST., MT yang telah banyak memberikan masukan teknis dan non-teknis selama berjalannya proses penelitian.
9. Tim peneliti “kapal dengan hidrofoil pendukung”, yang telah memberikan semangat, masukan dan doa kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
10. Rekan-rekan penulis, Mahasiswa/i program pra-magister sainstek, Mahasiswa/i Teknik perkapalan ITS yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penelitian tesis ini masih memiliki banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu sangat diharapkan saran yang membangun agar penelitian ini lebih dapat disempurnakan.

Surabaya, Agustus 2016

**Penulis**



## **Studi Variasi Perletakan *Foil* Belakang di Arah *Vertikal* dan Sudut Serang Untuk Meningkatkan Gaya Angkat dan Mengurangi Hambatan Kapal *Hydrofoil***

Nama mahasiswa : Apriansyah  
NRP : 4114 2030 010  
Pembimbing : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

### **ABSTRAK**

Penggunaan *hydrofoil* pada kapal berfungsi mengurangi tahanan gesek lambung kapal. Kapal dengan *hydrofoil* memiliki kelebihan, jika kapal melaju dengan kecepatan tinggi *hydrofoil* memproduksi gaya angkat sehingga lambungnya terangkat dan keluar dari air.

Pada penelitian ini, penulis mendesain *foil* belakang yang optimum. Penelitian yang dilakukan adalah dengan mengoptimasi ukuran *foil* dan memvariasikan jarak *foil* belakang di arah *vertikal* terhadap sarat (T) kapal. Dengan ukuran *foil* yang optimum serta jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal yang optimum mengakibatkan *foil* belakang dapat menangkap aliran fluida yang cukup untuk menghasilkan gaya angkat yang maksimum.

Studi pengaruh penempatan *foil* belakang dilakukan dengan software CFD dengan mempertimbangkan tiga variasi penempatan *foil* belakang. Posisi *foil* depan dipertahankan konstan di semua variasi. *Foil* belakang dengan posisi paling dalam memiliki nilai *lift force* terbesar. Namun, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* (*strut*, *foil* depan, *foil* belakang) menunjukkan bahwa posisi *foil* belakang yang paling dekat dengan lambung kapal memiliki nilai tertinggi, yang merupakan variasi posisi perletakan yang paling optimal.

Kata kunci: *Hydrofoil*, *foil* belakang, gaya angkat, sudut serang, jarak *foil*.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**Effects of Stern *Foil* Placement in the Vertical Direction and Angle of Attack on the *Lift* Force and Resistance of *Hydrofoil* High Speed Craft**

Student name : Apriansyah  
NRP : 4114 2030 010  
Supervisor : Dr. Ir. I Ketut Suastika, M.Sc.

**ABSTRACT**

The hydrofoil on a boat used for reducing the frictional resistance. Boats with hydrofoil has its advantages, if the boat at high speed, hydrofoil produces the lifting force so that the hull was lifted in and out of the water, such that the boat wetted surface area is reduced and so is the viscous resistance.

Effects of the placement of the stern foil in the vertical direction are studied by using computational fluid dynamics and by considering three alternative stern foil placements. The position of the front foil is kept constant in all the alternatives. The deepest stern foil placement results in the highest lift force of the stern foil. However, considering the lift-to-drag ratio of the whole front-stern-foil and strut system, the shallowest stern foil placement results in the highest lift-to-drag ratio, which is the most optimum alternative.

Index Terms: Hydrofoil craft, Stern foil, Aspect ratio, Lift-to-drag ratio, Viscous resistance.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Hipotesis .....	6
1.6. Batasan Masalah .....	6
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 <i>Hydrofoil Craft</i> .....	7
2.2 Konfigurasi <i>Hydrofoil</i> .....	8
2.3 Susunan <i>Foil</i> .....	9
2.4 <i>Type Aerofoil</i> .....	10
2.5 Bentuk penampang sayap .....	12
2.6 Teori <i>Hydrofoil</i> .....	12
2.7 <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	15
2.8 Metodologi <i>Computational Fluid Dynamics</i> .....	18
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Bagan Alir penelitian .....	19
3.1.1 Studi literatur .....	21
3.1.2 Pengumpulan data dan pemodelan .....	21
3.1.3 Pengujian menggunakan CFD .....	21
3.1.1 Analisa Hasil Pengujian .....	23

3.1.1 Kesimpulan dan saran .....	23
3.2 Jadwal Penelitian .....	23
<b>BAB 4 PEMBUATAN MODEL CFD .....</b>	<b>25</b>
4.1 Pembuatan model <i>hydrofoil</i> .....	25
4.1.1 Perhitungan bebe <i>hydrofoil</i> .....	27
4.1.2 Ukuran <i>hydrofoil</i> .....	31
4.1.3 Model <i>hydrofoil</i> .....	31
4.1.4 <i>Meshing</i> model <i>hydrofoil</i> .....	32
4.1.5 Simulasi CFD model <i>hydrofoil</i> .....	34
4.2 Pembuatan model kapal cepat .....	40
4.2.1 <i>Meshing</i> model uji kapal cepat .....	43
4.2.2 Simulasi CFD model kapal cepat .....	45
4.3 Pembuatan model kapal cepat <i>hydrofoil</i> .....	52
4.3.1 <i>Meshing</i> model uji kapal cepat .....	52
4.3.2 Simulasi CFD model kapal cepat .....	55
4.4 Model Turbulensi .....	62
4.5 Validasi .....	63
4.5.1 <i>Grid independence</i> .....	63
4.5.2 Validasi data .....	65
<b>BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>63</b>
5.1 Hasil .....	63
5.1.1 Hasil pengujian model <i>foil</i> .....	63
5.1.2 Hasil pengujian model kapal cepat hidrofoil .....	75
5.1.2.1 Hasil pengujian bagian <i>foil</i> .....	76
5.1.2.2 Hasil pengujian sistem hidrofoil .....	86
5.1.2.3 Hasil pengujian kapal cepat hidrofoil .....	89
5.2 Pembahasan .....	92
5.2.1 Pemilihan ukuran <i>foil</i> .....	93
5.2.2 Selisih gaya angkat ( <i>lift</i> ) <i>foil</i> depan dan <i>foil</i> belakang .....	96
5.2.3 Sistem <i>foil</i> ( <i>foil</i> dan strut) .....	100
5.2.4 Kapal cepat hidrofoil ( <i>foil</i> ,strut dan lambung kapal) .....	102

5.2.5 <i>Hump region</i> .....	106
<b>BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>109</b>
3.1 Kesimpulan.....	109
3.2 Saran .....	110
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Desain Penampang <i>Hydrofoil</i> .....	1
Gambar 1.2 Variasi Perletakan Posisi System <i>Hydrofoil</i> .....	2
Gambar 1.3 Turbulensi <i>Foil</i> .....	3
Gambar 1.4 Foto hasil eksperimen model yang paling optimum Kecepatan 2,96 m/s .....	3
Gambar 1.5 Pengujian hambatan variasi 3 pilot boat dengan kecepatan Model 2,95 m/s .....	4
Gambar 1.6 Grafik Profil Model <i>Hydrofoil</i> .....	5
Gambar 2.1 <i>Hydrofoil Craft</i> Dengan <i>Completely Submerged Foil</i> .....	7
Gambar 2.2 <i>Hydrofoil Craft</i> Pada Kondisi <i>Foilborne</i> .....	8
Gambar 2.3 <i>Surfacepiercingfoil</i> dan <i>Completelysubmerged</i> .....	9
Gambar 2.4 Konfigurasi pada <i>Foil</i> .....	10
Gambar 2.5 Bentuk Penampang Sayap.....	12
Gambar 2.6 Notasi <i>Hydrofoil</i> .....	13
Gambar 2.7 Fully Submerged <i>Hydrofoil</i> .....	14
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian .....	20
Gambar 4.1 Model <i>Hydrofoil</i> NACA 64(1)212.....	25
Gambar 4.2 Koefisien <i>Lift Foil</i> NACA 64(1)212 .....	26
Gambar 4.3 Koefisien <i>Drag Foil</i> NACA 64(1)212 .....	26
Gambar 4.4 Rasio Koefisien <i>Lift</i> Koefisien <i>Drag Foil</i> NACA 64(1)212 .....	27
Gambar 4.5 Desain 2D <i>Hydrofoil</i> NACA 64(1)212 .....	32
Gambar 4.6 Desain 3D <i>Hydrofoil</i> NACA 64(1)212 .....	32
Gambar 4.7 Pengaturan <i>Meshing</i> Model <i>Hydrofoil</i> .....	33
Gambar 4.8 Hasil <i>Meshing Hydrofoil</i> .....	33
Gambar 4.9 Detail <i>Meshing</i> Bagian <i>Leading Hydrofoil</i> .....	33
Gambar 4.10 Detail <i>Meshing</i> Bagian <i>Trailing Hydrofoil</i> .....	34
Gambar 4.11 Hasil <i>Meshing</i> Simulasi Model Uji.....	34
Gambar 4.12 Kondisi <i>Default Domain</i> .....	35
Gambar 4.13 Kondisi <i>Inlet</i> .....	36
Gambar 4.14 Kondisi <i>Outlet</i> .....	36
Gambar 4.15 Kondisi <i>Foil</i> .....	37
Gambar 4.16 Kondisi <i>Wall(Side)</i> .....	37
Gambar 4.17 Kondisi Batas <i>Top</i> .....	38
Gambar 4.18 Kondisi Batas <i>Bottom</i> .....	38
Gambar 4.19 Grafik Hasil Proses <i>Running Model Hydrofoil</i> .....	39
Gambar 4.20 Proses Penyesuaian Ukuran Model Ujimenggunakan Software Maxsurf Modeller V20.....	41
Gambar 4.21 Model Uji Kapal Cepat (Software Maxsurf).....	42

Gambar 4.22 Model Uji Kapal Cepat (Software ICEM CFD).....	42
Gambar 4.23 Pengaturan <i>Meshing</i> Pada Model Uji Kapal Cepat.....	43
Gambar 4.24 Hasil <i>Meshing</i> Pada Model Uji Kapal Cepat.....	44
Gambar 4.25 Detail <i>Meshing</i> Bagian Haluan Model Uji Kapal Cepat.....	44
Gambar 4.26 Detail <i>Meshing</i> Bagian Buritan Model Uji Kapal Cepat.....	44
Gambar 4.27 Hasil <i>Meshing</i> Model Uji Dan Boundary Layer.....	45
Gambar 4.28 Kondisi Default Domain Model Uji Kapal Cepat.....	46
Gambar 4.29 Kondisi <i>Inlet</i> Model Uji Kapal Cepat.....	47
Gambar 4.30 Kondisi <i>Outlet</i> Model Uji Kapal Cepat.....	47
Gambar 4.31 Kondisi Model Uji Kapal Cepat.....	48
Gambar 4.32 Kondisi <i>Wall</i> (Side) Model Uji Kapal Cepat.....	48
Gambar 4.33 Kondisi Batas <i>Top</i> Model Uji Kapal Cepat.....	49
Gambar 4.34 Kondisi Batas <i>Bottom</i> Model Uji Kapal Cepat.....	50
Gambar 4.35 Grafik Hasil Proses Running Model Uji Kapal Cepat.....	52
Gambar 4.36 Pengaturan <i>Meshing</i> Pada Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	53
Gambar 4.37 Hasil <i>Meshing</i> Pada Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	53
Gambar 4.38 Detail <i>Meshing</i> Bagian Strut dan <i>Foil</i> Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	54
Gambar 4.39 Detail <i>Meshing</i> Bagian Strut dan Lambung Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	54
Gambar 4.40 Hasil <i>Meshing</i> Model Uji dan Boundary Layer.....	54
Gambar 4.41 Kondisi Default Domain Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	55
Gambar 4.42 Kondisi <i>Inlet</i> Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	56
Gambar 4.43 Kondisi <i>Outlet</i> Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	57
Gambar 4.44 Kondisi Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	57
Gambar 4.45 Kondisi <i>Wall</i> (Side) Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	58
Gambar 4.46 Kondisi Batas <i>Top</i> Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	58
Gambar 4.47 Kondisi Batas <i>Bottom</i> Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	59
Gambar 4.48 Grafik Hasil Proses Running Model Uji Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> ..	61
Gambar 4.49 Grafik Grid Independence Model <i>Hydrofoil</i> .....	63
Gambar 4.50 Grafik Grid Independence Model Uji Kapal Cepat.....	65
Gambar 5.1 Nilai Coefficient <i>Drag</i> ( $C_D$ ) <i>Foil</i> span = 4 m.....	69
Gambar 5.2 Nilai Coefficient <i>Lift</i> ( $C_L$ ) <i>Foil</i> Span = 4 m.....	69
Gambar 5.3 Nilai rasio $C_L/C_D$ <i>Foil</i> span = 4 m.....	70
Gambar 5.4 Nilai Coefficient <i>Drag</i> ( $C_D$ ) <i>Foil</i> span = 5 m.....	73
Gambar 5.5 Nilai Coefficient <i>Lift</i> ( $C_L$ ) <i>Foil</i> Span = 5 m.....	74
Gambar 5.6 Nilai rasio $C_L/C_D$ <i>Foil</i> span = 5 m.....	74
Gambar 5.7. Variasi Model Perletakan <i>Foil</i> Belakang Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> ..	75
Gambar 5.8 Tiga Variasi Penyajian Hasil Pengujian Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> ....	76
Gambar 5.9 Perbandingan <i>Lift Foil</i> Depan.....	79
Gambar 5.10 Perbandingan <i>Lift Foil</i> Belakang.....	79
Gambar 5.11 Perbandingan <i>Drag Foil</i> Depan.....	82
Gambar 5.12 Perbandingan <i>Drag Foil</i> Belakang.....	82
Gambar 5.13 Perbandingan Rasio <i>Lift/Drag Foil</i> Depan.....	85
Gambar 5.14 Perbandingan Rasio <i>Lift/Drag Foil</i> Belakang.....	85
Gambar 5.15 Perbandingan <i>Lift Foil</i> System.....	88
Gambar 5.16 Perbandingan <i>Drag Foil</i> System.....	88

Gambar 5.17 Perbandingan <i>Lift</i> Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	91
Gambar 5.18 Perbandingan <i>Drag</i> Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	91
Gambar 5.19 Perbandingan Rasio $C_L/C_D$ <i>Foil</i> Span 4 Meter Dan 5 Meter.....	95
Gambar 5.20 Perbandingan <i>Lift Foil</i> Span 4 Meter Dan 5 Meter.....	96
Gambar 5.21 Perbandingan Rasio <i>Lift/Drag Foil</i> Belakang.....	100
Gambar 5.22 Perbandingan <i>Lift/Drag Foil System</i> .....	101
Gambar 5.23 Perbandingan <i>Lift/Drag</i> Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	103
Gambar 5.24. Aliran Pada Lambung Kapal Tanpa <i>Hydrofoil</i> Pendukung.....	103
Gambar 5.25. Aliran Pada Lambung Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> Model A.....	104
Gambar 5.26. Aliran Pada Lambung Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> Model B.....	105
Gambar 5.27. Aliran Pada Lambung Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> Model C.....	105
Gambar 5.28 Mode Gerak Kapal Cepat Planning Hull.....	106

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	21
Tabel 3.2 Data Hydrostatics Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> .....	22
Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian .....	24
Tabel 4.1 Data Calculated Polar NACA 64(1)212.....	25
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Foil</i> Dengan Span 4 Meter .....	29
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Foil</i> Dengan Span 5 Meter Pada Kondisi AR tetap (AR = Tabel 4.2) .....	29
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Ukuran <i>Foil</i> Dengan Span 5 Meter Pada Kondisi AR Berubah .....	30
Tabel 4.5 Ekspresi-ekspresi pada CEL (CFX,2016) Kapal Cepat.....	50
Tabel 4.6 Ekspresi-ekspresi pada CEL (CFX,2016) Kapal Cepat <i>Hydrofoil</i> ....	59
Tabel 4.7 Grid Independence Model <i>Hydrofoil</i> .....	63
Tabel 4.8 Grid Independence Model Uji Kapal Cepat.....	64
Tabel 4.9 Data Hasil Uji Tarik Towing Tank Kapal Cepat .....	65
Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Uji Tarik Dan CFD.....	66
Tabel 5.1 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 4 m ; Chord = 0,91 ; AR = 4,40).....	67
Tabel 5.2 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 4 m ; Chord = 0,65 ; AR = 6,13).....	67
Tabel 5.3 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 4 m ; Chord = 0,51 ; AR = 7,83).....	68
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 4 m ; Chord = 0,43 ; AR = 9,39).....	68
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 1,14 ; AR = 4,40).....	70
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 0,82 ; AR = 6,13).....	71
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 0,64 ; AR = 7,83).....	71
Tabel 5.8 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 0,53 ; AR = 9,39).....	71
Tabel 5.9 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 1,21 ; AR = 4,14).....	72
Tabel 5.10 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 0,73 ; AR = 6,87)...	72
Tabel 5.11 Hasil Perhitungan <i>Foil</i> (Span = 5 m ; Chord = 0,52 ; AR = 9,57)...	73
Tabel 5.12 <i>Lift</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,8$ ; $V= 9,53$ m/s .....	77
Tabel 5.13 <i>Lift</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,9$ ; $V= 10,72$ m/s .....	77
Tabel 5.14 <i>Lift</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,0$ ; $V= 11,91$ m/s .....	77
Tabel 5.15 <i>Lift</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,1$ ; $V= 13,10$ m/s .....	78

Tabel 5.16 <i>Lift</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,2$ ; $V= 14,30$ m/s.....	78
Tabel 5.17 <i>Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,8$ ; $V= 9,53$ m/s.....	80
Tabel 5.18 <i>Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,9$ ; $V= 10,72$ m/s.....	80
Tabel 5.19 <i>Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,0$ ; $V= 11,91$ m/s.....	80
Tabel 5.20 <i>Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,1$ ; $V= 13,10$ m/s.....	81
Tabel 5.21 <i>Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,2$ ; $V= 14,30$ m/s.....	81
 Tabel 5.22 Rasio <i>Lift/Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,8$ ; $V= 9,53$ m/s .....	 83
 Tabel 5.23 Rasio <i>Lift/Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 0,9$ ; $V= 10,72$ m/s .....	 83
Tabel 5.24 Rasio <i>Lift/Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,0$ ; $V= 11,91$ m/s .....	84
Tabel 5.25 Rasio <i>Lift/Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,1$ ; $V= 13,10$ m/s .....	84
Tabel 5.26 Rasio <i>Lift/Drag</i> Hasil Pengujian Bagian <i>Foil</i> $F_n= 1,2$ ; $V= 14,30$ m/s .....	84
Tabel 5.27 Hasil Pengujian <i>Foil</i> System $F_n= 0,8$ ; $V= 9,53$ m/s.....	86
Tabel 5.28 Hasil Pengujian <i>Foil</i> System $F_n= 0,9$ ; $V= 10,72$ m/s.....	87
Tabel 5.29 Hasil Pengujian <i>Foil</i> System $F_n= 1,0$ ; $V= 11,91$ m/s.....	87
Tabel 5.30 Hasil Pengujian <i>Foil</i> System $F_n= 1,1$ ; $V= 13,10$ m/s.....	87
Tabel 5.31 Hasil Pengujian <i>Foil</i> System $F_n= 1,2$ ; $V= 14,30$ m/s.....	87
Tabel 5.32 Hasil Pengujian Kapal Cepat Hidrofoil $F_n= 0,8$ ; $V= 9,53$ m/s.....	89
Tabel 5.33 Hasil Pengujian Kapal Cepat Hidrofoil $F_n= 0,9$ ; $V= 10,72$ m/s.....	89
Tabel 5.34 Hasil Pengujian Kapal Cepat Hidrofoil $F_n= 1,0$ ; $V= 11,91$ m/s.....	90
Tabel 5.35 Hasil Pengujian Kapal Cepat Hidrofoil $F_n= 1,1$ ; $V= 13,10$ m/s.....	90
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Kapal Cepat Hidrofoil $F_n= 1,2$ ; $V= 14,30$ m/s.....	90
Tabel 5.37 Ukuran Utama <i>Free Surface-Piercing Hydrofoil Craft Of The</i> <i>Monohull Type</i> .....	93
Tabel 5.38 Ukuran Utama <i>Fully Submerged Hydrofoil Craft Of The</i> <i>Monohull Type</i> .....	93

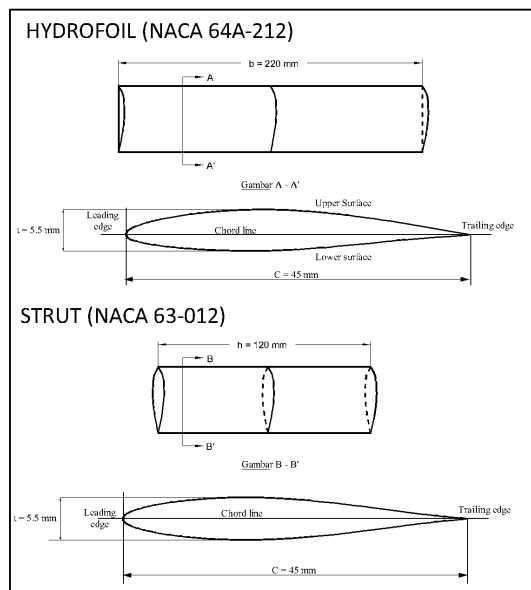
Tabel 5.39 Perbandingan <i>Foil</i> Span 4 Meter Dan 5 Meter .....	94
Tabel 5.40 Selisih Nilai <i>Lift Foil</i> Depan Dan <i>Foil</i> Belakang Pada Kondisi Fn= 0,8; V= 9,53 m/s .....	96
Tabel 5.41 Selisih Nilai <i>Lift Foil</i> Depan Dan <i>Foil</i> Belakang Pada Kondisi Fn= 0,9; V= 10,72 m/s .....	97
TABEL 5.42 Selisih Nilai <i>Lift Foil</i> Depan Dan <i>Foil</i> Belakang Pada Kondisi Fn= 1,0; V= 11,91 m/s .....	97
Tabel 5.43 Selisih Nilai <i>Lift Foil</i> Depan Dan <i>Foil</i> Belakang Pada Kondisi Fn= 1,1; V= 13,10 m/s .....	98
Tabel 5.44 Selisih Nilai <i>Lift Foil</i> Depan Dan <i>Foil</i> Belakang Pada Kondisi Fn= 1,2; V= 14,30 m/s .....	99

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Penggunaan *hydrofoil* pada kapal berfungsi mengurangi hambatan gesek lambung kapal. Kapal dengan *hydrofoil* memiliki kelebihan, jika kapal melaju dengan kecepatan tinggi *hydrofoil* memproduksi gaya angkat sehingga lambungnya terangkat dan keluar dari air. Saputro dan suastika (2012:54) menyatakan bahwa “semakin besar jarak lengan *foil* bagian depan dengan *foil* bagian belakang, maka momen pada *foil* belakang akan semakin besar sehingga terjadi gerakan pitching yang mengakibatkan bagian haluan terangkat. Pada penelitian sebelumnya (Saputro dan Suastika, 2012) melakukan riset di *towing tank* dengan memvariasikan jarak antara *foil* depan dengan *foil* belakang.

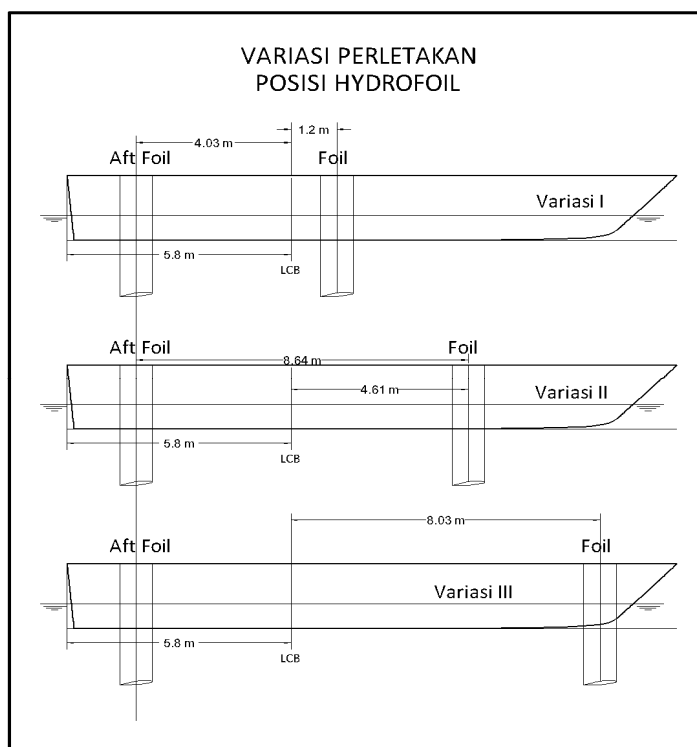


Gambar 1.1. Desain Penampang *Hydrofoil*  
(Saputro dan Suastika, 2012)

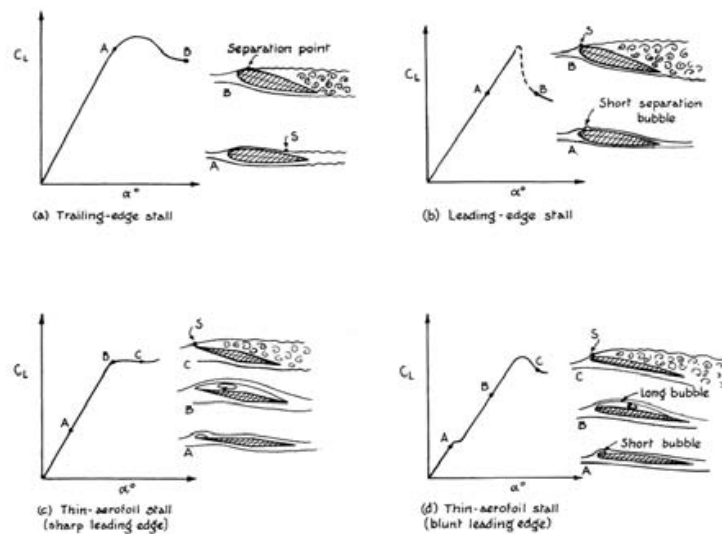
Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh hasil bahwa jarak *foil* depan yang semakin dekat dengan *foil* belakang memiliki nilai hambatan yang semakin kecil. Penelitian ini mengkaji pengaruh posisi perletakan *hydrofoil* terhadap hambatan total kapal. Penelitian ini dilakukan di *towing tank* dengan memvariasikan antara jarak *hydrofoil* depan dan belakang terhadap titik berat kapal (Gambar 1.2). Yang mana hasil optimum dengan nilai hambatan terkecil di peroleh pada variasi model



nomor dua, namun dalam penelitian tersebut gerak terangkatnya *foil* depan tidak diikuti oleh *foil* bagian belakang (Gambar 1.4 dan 1.5). Dimana beban pada *foil* depan sebesar 8741 Kg dan *foil* belakang sebesar 10008 Kg. Sedangkan *lift* maksimal yang dihasilkan berdasarkan perhitungan numerik masing-masing *foil* sebesar 250 KN. Berdasarkan perhitungan numerik, seharusnya *lift* yang dihasilkan *foil* belakang mampu mengangkat bagian buritan kapal pada posisi *foilborne*. Tidak terangkatnya *foil* bagian belakang bisa diakibatkan kesalahan pembuatan model *foil* yang di uji. Selain itu, tidak optimalnya *lift* yang dihasilkan *foil* belakang bisa diakibatkan posisi *foil* belakang dan *foil* depan sejajar secara *vertikal* terhadap LWL kapal. Hal tersebut mengakibatkan aliran yang melewati *foil* belakang dipengaruhi oleh turbulensi dari aliran *fluida* yang telah melawati *foil* bagian depan Gambar 1.3). Sehingga perlu dilakukan pengujian menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk meminimalisir kesalahan dalam desain model kapal *hydrofoil*.



Gambar 1.2. Variasi Perletakan Posisi System *Hydrofoil*  
(Saputro dan Suastika, 2012)



Gambar 1.3. Turbulensi pada *Foil*



Gambar 1.4. Foto Hasil Eksperimen Model yang Paling Optimum pada Kecepatan 2,96 m/s. (Saputro dan Suastika, 2012)

Besnard dkk. (1998) melakukan penelitian untuk memperoleh perbandingan *lift* dan *drag* maksimum yang dapat diaplikasikan pada tipe kapal cepat. Menggunakan panel method untuk menghitung aliran tiga dimensi di sekitar konfigurasi yang berubah-ubah dengan model permukaan bebas, optimasi penampang *foil*, desain bagian strut *cross section foil*, dan analisa struktur *foil*. Alat komputasi kemudian diintegrasikan ke dalam desain multi disiplin/pendekatan optimasi yang diterapkan pada desain *single foil* dan *biplane foil* yang optimum.

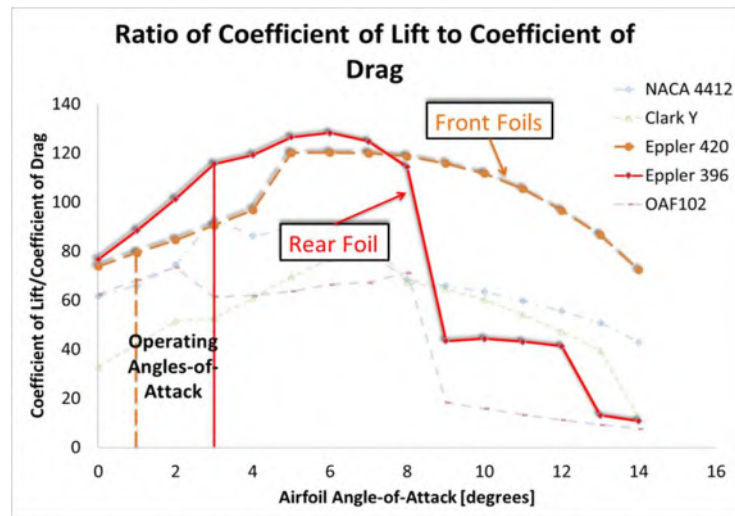
Terkait dengan olah gerak kapal saat *take off*, Latorre dan Teerasin (1992) melakukan perhitungan kecepatan take off kapal *hydrofoil* dengan memperhatikan

ukuran *foil* dan sudut serang (*angle of attack*), penelitian ini yang pertama menyajikan verifikasi UNO-HYF1 dengan data kinerja yang dipublikasikan. Data *hydrofoil take off* disajikan untuk menunjukkan perubahan kecepatan ketika area *foil*, sudut *foil* dan sudut poros baling-baling berubah. Perhitungan menunjukkan bahwa berbagai daerah *Hydrofoil* memiliki dampak terbesar pada kecepatan *hydrofoil take off*. Chen dkk. (2009) mengkaji pengaruh gaya Lorentz terhadap besar gaya *lift hydrofoil*.



Gambar 1.5. Pengujian Hambatan Variasi 3 Pilot Boat dengan Kecepatan Model 2.95 m/s (Saputro dan Suastika, 2012).

Putman dkk. (2014) melakukan pengujian untuk memilih jenis *foil* yang akan digunakan pada system kapal *hydrofoil*. Hasil pengujian beberapa jenis *foil* berdasarkan rasio gaya angkat dan hambatannya dapat dilihat pada Gambar 1.6. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, *foil* Epler 396 dipilih untuk *foil* belakang karena memiliki rasio gaya angkat dan hambatan yang terbaik dari beberapa model *foil* yang diuji. Kemudian *foil* Eppler 420 untuk *foil* depan karena memiliki rasio gaya angkat dan hambatan yang baik pada variasi sudut serang  $1^{\circ}$  sampai dengan  $14^{\circ}$ . Eppler 396 tidak direkomendasikan untuk penggunaan *foil* depan karena rasio gaya angkat dan hambatan pada variasi sudut serang  $1^{\circ}$  sampai dengan  $14^{\circ}$  turun secara signifikan.



Gambar 1.6 Profil Model *Hydrofoil* (Putman dkk, 2014)

Berdasarkan hal diatas, penulis menganggap perlu mendesain *foil* belakang yang optimum agar bagian buritan kapal terangkat mengikuti bagian haluan kapal dan mengurangi hambatan gesek lambung kapal. Pada penelitian yang diusulkan ini, penulis akan mengoptimalkan gaya angkat *foil* belakang untuk mengurangi pitching kapal pada saat kondisi *foilborne*. Pendekatan yang dilakukan adalah dengan memvariasikan sudut serang dari *foil* belakang dan jarak *foil* belakang terhadap LWL kapal. Dengan mengetahui sudut serang yang optimum, maka control system *hydrofoil* pada kondisi *foilborne* dapat dilakukan secara otomatis. Variasi perletakan *foil* secara horizontal mengikuti penelitian sebelumnya (saputro dan suastika, 2012), yaitu pada variasi nomor dua (Gambar 1.2). Simulasi dilakukan dengan menggunakan open-source computational fluid dynamics (CFD).

## 1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan latar belakang, permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa panjang *Chord* dan *Span foil* yang paling optimum dan mampu mengatasi gaya berat kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *foilborne* ?

2. Bagaimana pengaruh perletakan *foil* di arah *vertikal* terhadap gaya angkat (*lift*) *foil* belakang ?
3. Berapakah jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal yang paling optimum ?

### 1.3 Tujuan

1. Mengetahui panjang *Chord* dan *Span foil* yang paling optimum dan mampu mengatasi gaya berat kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *foilborne*.
2. pengaruh perletakan *foil* di arah *vertikal* terhadap gaya angkat (*lift*) *foil* belakang.
3. Mengetahui jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal yang paling optimum.

### 1.4 Manfaat

1. Menjadi referensi pada tahap pra rancangan sebuah kapal yang di dukung dengan *hydrofoil*.
2. Menjadi referensi dalam perancangan *hydrofoil*.

### 1.5 Hipotesis

1. Sudut pitching kapal pada fase *foilborne* dapat dikurangi dengan menyesuaikan sudut kemiringan *foil* belakang terhadap arah aliran *fluida* saat *foil* depan dalam fase *foilborne* sehingga bagian buritan kapal terangkat.
2. Gaya angkat *foil* belakang yang optimum dapat diperoleh dengan memfariasikan jarak *hydrofoil* secara *vertikal* terhadap lwl kapal *hydrofoil* untuk mengurangi pengaruh dari aliran yang melewati *foil* depan.

### 1.6 Batasan Masalah

1. Model *hydrofoil*, bentuk dan letak *foil* depan mengikuti penelitian sebelumnya. (Saputro dan suastika, 2012).
2. Variasi model dan bentuk stern *foil* hanya pada satu model kapal.
3. Analisa dilakukan dengan menggunakan computational fluid dynamic.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Hydrofoil Craft*

*Hydrofoil Craft* atau kapal *hydrofoil* merupakan kapal yang didukung *hydrofoil* yang terpasang di area bawah lambung kapal berfungsi memberi gaya angkat dinamis sehingga badan lambung kapal terangkat di atas permukaan air. Alasan pemakaian *hydrofoil* adalah ketika lambung kapal mulai terangkat dari air dan berat kapal ditopang oleh *foil* akan memperkecil luas hambatan yang terjadi akibat gaya gesek antara lambung kapal yang tercelup dengan air, *foil* memberikan efek meningkatkan gaya angkat pada kapal ketika kecepatan ditambahkan. Setelah lambung kapal terangkat dari air sampai batas maksimum, gaya angkat yang diperlukan konstan. Sehingga hambatan yang dihasilkan oleh lambung kapal dapat diabaikan dan faktor hambatan diperoleh berdasarkan *drag*, strut dan *foil*.

Sebuah *hydrofoil* di kapal mempunyai berat yang sensitif dan harus dioperasikan pada kecepatan relative tinggi yang bertujuan untuk memberikan gaya *lift* dinamis yang diinginkan untuk menopang berat dengan ukuran *foil* yang sesuai. Gambar 2.1 merupakan salah satu contoh *hydrofoil craft* dengan menggunakan sistem *completely submerged foil*.



Gambar 2.1 *Hydrofoil Craft* dengan *Completely Submerged Foil*

Adapun kondisi sebuah *hydrofoilcraft* dalam kondisi melaju dengan bagian lambung kapal terangkat sepenuhnya dari permukaan air (*foilborne*) seperti yang ada pada Gambar 2.2:



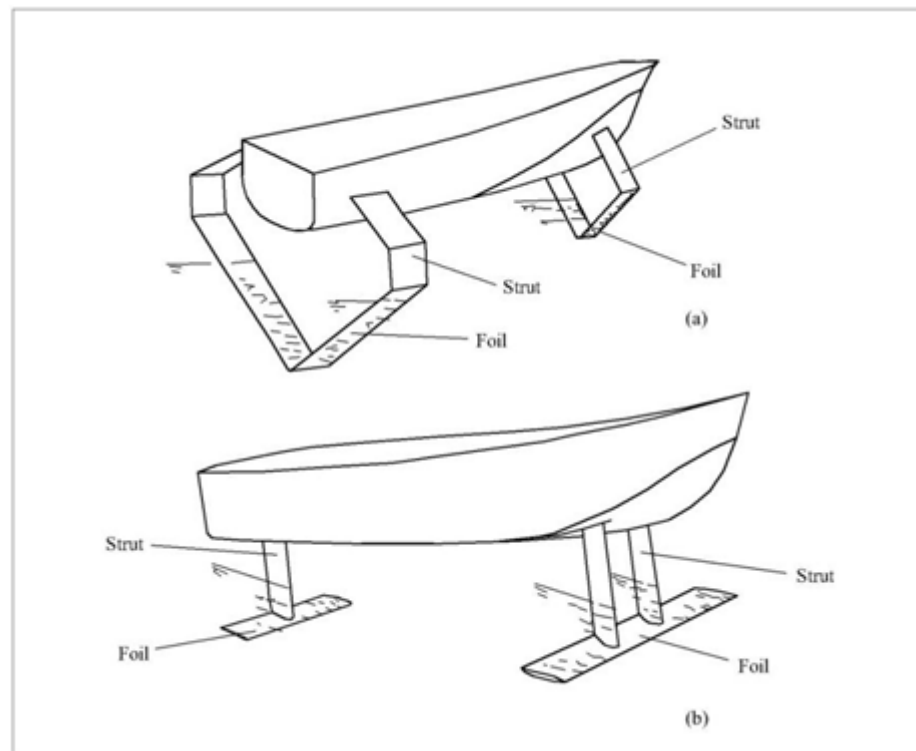
Gambar 2.2 *Hydrofoil Craft* pada Kondisi *Foilborne*

## 2.2. Konfigurasi *Hydrofoil*

Pada kapal *hydrofoil* kebanyakan mempunyai corak yang berbeda pada *strut-foil* sistemnya dengan kapal *hydrofoil* yang lain. Pada dasarnya tipe sistem *foil* diklasifikasikan menjadi 2 jenis berdasarkan pengaturan dan pengoperasian *foil* (Gambar 2.3):

1. *Surfacepiercingfoil*, yaitu *hydrofoil* dengan sayap berbentuk V atau U dengan sebagian terbenam di air dan sebagian di permukaan air. Adapun kelebihan dari konfigurasi ini:
  - a) *Seakeeping* lebih baik pada *monohull*.
  - b) Stabilitasnya lebih baik pada kondisi *foilborne* (kondisi dimana bagian badan kapal berada di atas permukaan air dan beban ditumpu oleh *strut-foil*) di perairan yang ganas.
  - c) Stabilitasnya baik tanpa kontrol.
  - d) Rentang kecepatan pada *foilborne* lebih lebar.
  - e) Toleransi beban-beban pada perencanaan lebih besar.

2. Completely submerged, yaitu *hydrofoil* dengan seluruh bagian permukaan *foil* terbenam dalam air. Adapun kelebihan dalam konfigurasi ini:
  - a) Lebih tenang dalam kondisi moderat.
  - b) Perbandingan antara *lift* dan *drag* tinggi.
  - c) Berat sistem *foil* kecil.
  - d) Kemampuan tetrasis pada perairan dangkal.



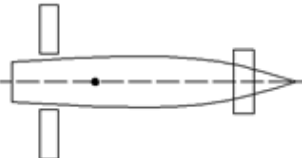
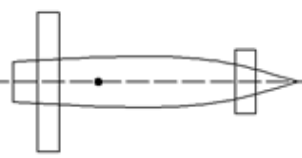
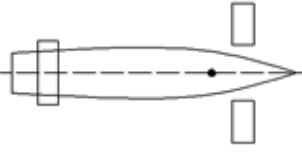
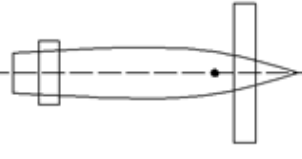
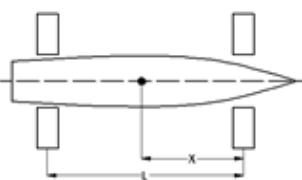
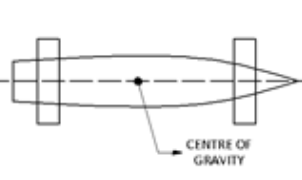
Gambar 2.3. (a) *Surface piercing foil* dan (b) *Completely submerged*  
(Mechanic of Marine Vehicles)

### 2.3. Susunan *Foil*

Susunan dan peletakan *foil* dalam kaitannya dengan letak titik berat kapal dibedakan menjadi tiga jenis Gambar 2.4):

1. Konvensional, yaitu *hydrofoil* dengan ukuran sayap depan lebih besar daripada sayap belakang.
2. Tandem, yaitu *hydrofoil* dengan ukuran sayap depan sama dengan sayap belakang.
3. Canard, yaitu *hydrofoil* dengan ukuran sayap depan lebih kecil dibandingkan sayap belakang.



SPLIT	NON-SPLIT	ARRANGEMENT
		CANARD $0.65 < \frac{X}{L} < 1$
		CONVENTIONAL $0 < \frac{X}{L} < 0.35$
		TANDEM $0.35 < \frac{X}{L} < 0.65$

Gambar 2.4. Konfigurasi *Foil* (Du Cane, 1974)

*Foil* diklasifikasikan konvensional bila 65% atau lebih berat disangga oleh *foil* depan, apabila 65% berat kapal disangga *foil* bagian depan maka susunan ini disebut canard dan bila berat kapal didistribusikan cukup merata untuk *foil* depan dan belakang maka konfigurasi ini disebut tandem (Gambar 2.4).

#### 2.4. Tipe Aerofoil

Aerofoil terbagi dalam 5 tipe, yaitu:

##### 1. NACA 4 digit, artinya:

- Angka pertama menunjukkan nilai maximum camber diukur dalam % *chord*.
- Angka kedua menunjukkan lokasi maximum camber diukur dari *leading edge* dalam persepuluh *chord*.
- Dua angka terakhir menunjukkan ketebalan maximum dalam % *chord*.

Contoh NACA 2412

Artinya : maksimum camber sekitar 2% *chord* pada lokasi 0,4 *chord* diukur dari *leading edge* dan maksimum ketebalan 12% *chord*.

2. NACA 5 digit, artinya:

- Angka pertama menunjukkan design koefisien *lift* dikalikan  $2/3$  dalam persepuluh.
- Angka kedua dan ketiga menunjukkan lokasi maksimum camber dari *leading edge* dibagi  $2\%$  *chord*.
- Dua angka terakhir menunjukkan tebal maksimum dalam  $\%$  *chord*.

Contoh : NACA 23012

Artinya : angka 2 menunjukkan design lift koefisien sebesar 0.3, angka 30 menunjukkan lokasi maksimal camber adalah  $0.15$  *chord* dari *leading edge*, angka 12 menunjukkan maksimal ketebalan  $12\%$  *chord*.

3. NACA seri 1, artinya:

- Angka pertama menunjukkan angka desain.
- Angka kedua menunjukkan lokasi maksimal ketebalan dalam sepersepuluh *chord* diukur dari *leading edge*.
- Angka ketiga menunjukkan desain *lift* koefisien dalam persepuluh.
- Dua angka terakhir menunjukkan tebal maksimum dalam  $\%$  *chord*.

Contoh : NACA 16-212

Artinya : NACA seri 1, lokasi ketebalan maksimal adalah  $0.6$  *chord* diukur dari *leading edge*, desain koefisien *lift* sebesar 0.2 dan ketebalan maksimum  $12\%$  *chord*.

4. NACA seri 6, artinya:

Sistem penomoran NACA seri 6 sama dengan NACA seri 1

5. Modifikasi NACA 4 digit dan 5 digit.

Modifikasi ini dengan menambahkan dua angka dibelakangnya, yang mempunyai arti:

- Angka tambahan yang pertama menunjukkan *leading edge* radius  $\%$  *chord* dari type tersebut.
- Angka tambahan kedua menunjukkan maksimal ketebalan diukur dari *leading edge* dalam persepuluh *chord*.

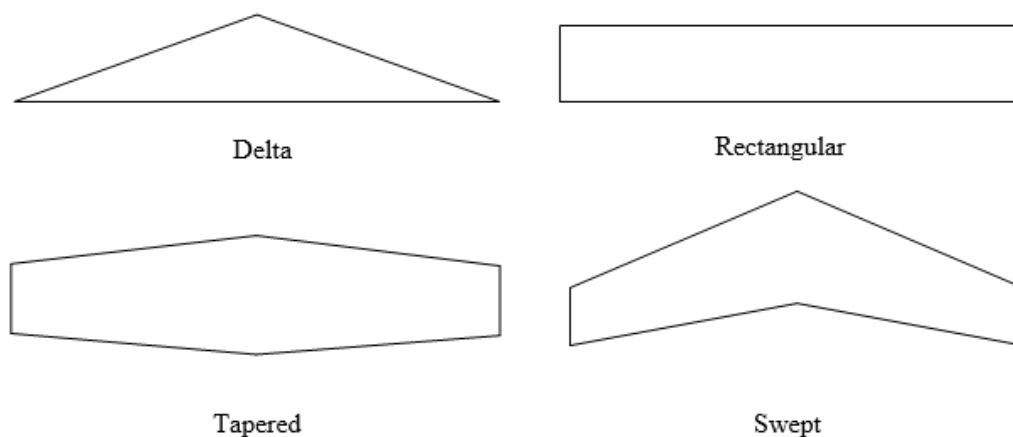
Contoh : 23012-64

Artinya : Angka 23012 artinya sama dengan NACA 5 digit sedang dua angka tambahan mempunyai arti *leading edge* radius sebesar 6% *chord* dan lokasi maksimal ketebalan adalah 0.4 *chord* dari *leading edge*.

## 2.5 Bentuk Penampang Sayap

Penampang sayap terdiri dari empat tipe (Gambar 2.5):

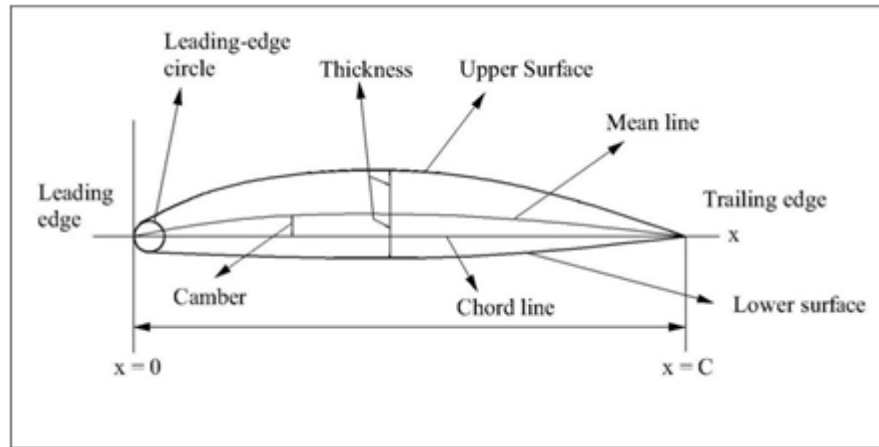
- Rectangular, yaitu sayap yang memiliki *chord* sama sepanjang sayap.
- Tapered, yaitu sayap dengan panjang *chord* tidak sama antara ujung (tip) dan pangkal (root) dimana *leading edge* membentuk sudut ke depan dan *trailing edge* membentuk sudut ke belakang.
- Delta, yaitu sayap bentuk segitiga.
- Swept, yaitu sayap dengan panjang *chord* yang tidak sama antara tip dan root. Tapi pada jenis ini *leading edge* dan *trailing edge* membentuk sudut ke depan.



Gambar 2.5 Bentuk Penampang Sayap

## 2.6 Teori Hydrofoil

*Hydrofoil*, sama dengan *aerofoil*, menghasilkan gaya angkat ketika bergerak melalui *fluida* (air) karena pembentukan gradien tekanan antara *fluida*, di atas dan di bawah *foil*. Profil *Hydrofoil* bervariasi sesuai dengan kondisi operasinya (Saputro dan Suastika, 2012). Notasi bagian *hydrofoil* ditunjukkan pada Gambar 2.6 dan 2.7.



Gambar 2.6 Notasi pada *Hydrofoil*

$$AR = \frac{(\text{span})^2}{\text{area}} = \frac{b_f}{c} \quad (2.1)$$

Keterangan:

*Chord* : c

Ketebalan : t

Span : s

Sedangkan nilai *aspect ratio* (AR) untuk penggunaan *hydrofoil* sebagai strut adalah (Ducane, 1974):

$$AR = \frac{b_f}{C} \left[ 1 + \left( \frac{a_f}{b_f} \right)^3 \right] \frac{h}{b_f} \quad (2.2)$$

dimana;

h : adalah kedalaman *foil* (jarak *foil* dari LWL kapal

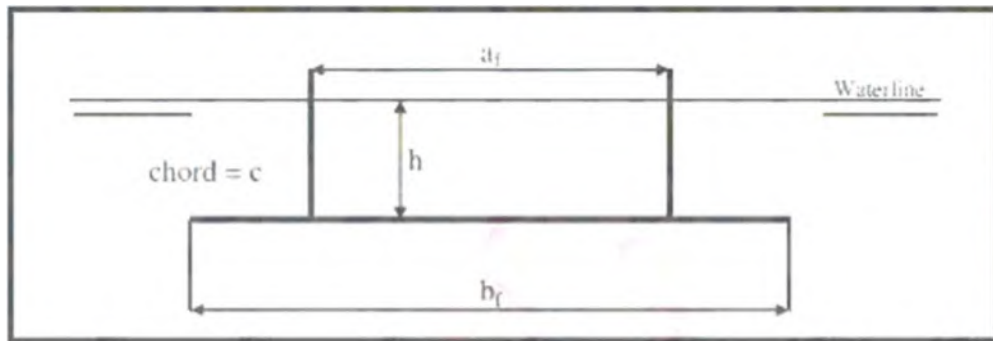
a<sub>f</sub> : lebar kapal

b<sub>f</sub> : Span *hydrofoil*

C : *Chord* dari strut

Dari persamaan 2.2 dapat diperoleh nilai h sebagai berikut:

$$h = \frac{AR \times b_f}{\frac{b_f}{C} \left[ 1 + \left( \frac{a_f}{b_f} \right)^3 \right]} \quad (2.3)$$



Gambar 2.7 Fully Submerged Hydrofoil

Kedalaman operasi *foil* memiliki dampak besar pada efisiensi dan dilambangkan sebagai  $h$ .

Pada dasarnya *hydrofoil* yang tercelup penuh mempunyai kualitas kendali dan performansi kecepatan yang baik. Fungsi utama *hydrofoil* adalah untuk mengangkat lambung kapal keluar dari air sehingga mengurangi hambatan gelombang dan WSA serta mengurangi hambatan gesek. *Foil* dapat berguna ketika dalam kondisi kecepatan yang direncanakan. Tanpa adanya *foil* maka kapal akan membutuhkan lebih banyak waktu beroperasi karena tidak ada dukungan gaya angkat. Berat dari kapal diseimbangkan dengan gaya angkat yang stabil dari sistem *foil* saat kondisi *foilborne*. Pada kapal tipe *horizontal submerged foil* persamaan dapat dituliskan sebagai berikut (Faltinsen,2005):

$$Mg = 1/2\rho C_L U^2 A \quad (2.4)$$

Dimana  $M$  adalah berat kapal,  $C_L$  adalah *coefficient lift*,  $U$  adalah kecepatan kapal, dan  $A$  adalah planform area dari sistem *foil*. Planform area didefinisikan sebagai luasan dari bidang *foil* searah dengan gaya angkat (*lift*) pada posisi sudut serang sama dengan nol. Ducane (1974:33) menuliskan persamaan untuk memperoleh gaya angkat (*lift force*) sebagai berikut:

$$L = 1/2\rho V^2 S C_L \quad (2.5)$$

Dimana  $S$  adalah luasan sayap/*foil*,  $V$  adalah kecepatan kapal,  $C_L$  adalah koefisien *lift*. Sedangkan tahanan (*drag force*) didefinisikan sebagai berikut:

$$D = 1/2\rho V^2 S C_D \quad (2.6)$$

Dimana  $D$  adalah *drag force* dan  $C_D$  adalah koefisien *drag*.

## 2.7 Computational Fluid Dynamics

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi *fluida* yang akan dilakukan penghitungan dibagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan *meshing*. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan adalah aplikasi. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau *meshing*. Nantinya, pada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan domain dan boundary condition yang telah ditentukan. Prinsip inilah yang banyak dipakai pada proses penghitungan dengan menggunakan bantuan komputasi komputer. Contoh lain penerapan prinsip ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) yang digunakan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada benda solid.

Sejarah CFD berawal pada tahun 60-an dan terkenal pada tahun 70-an awalnya pemakaian konsep CFD hanya digunakan untuk aliran *fluida* dan reaksi kimia, namun seiring dengan perkembangannya industri ditahun 90-an membuat CFD makin dibutuhkan pada berbagai aplikasi lain. Contoh sekarang ini banyak sekali paket-paket *software* CAD menyertakan konsep CFD yang dipakai untuk menganalisa stress yang terjadi pada disain yang dibuat. Pemakaian CFD secara umum dipakai untuk memprediksi : Aliran dan panas, transfer massa, perubahan fasa seperti pada proses melting, pengembunan dan pendidihan, reaksi kimia seperti pembakaran, gerakan mekanis seperti piston dan fan, tegangan dan tumpuan pada benda solid, gelembung elektromagnetik. secara umum proses penghitungan CFD terdiri atas 3 bagian utama: *Preprocessor*, *Processor* dan *Post processor*.

*Preprocessor* adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau boundary condition. Ditahap ini juga sebuah benda atau ruangan yang akan dianalisa dibagi-bagi dengan jumlah *grid* tertentu atau sering juga disebut dengan *meshing*. Tahap selanjutnya adalah *processor*, pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan

persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju *error* terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Penghitungan dilakukan secara menyeluruh terhadap volume kontrol dengan proses integrasi persamaan diskrit. Tahap akhir merupakan tahap *post processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola warna tertentu.

Hal yang paling mendasar mengapa konsep CFD (*software CFD*) banyak sekali digunakan dalam dunia industri adalah dengan CFD dapat dilakukan analisa terhadap suatu sistem dengan mengurangi biaya eksperimen dan tentunya waktu yang panjang dalam melakukan eksperimen tersebut. Dalam proses design engineering tahap yang harus dilakukan menjadi lebih pendek. Hal ini yang mendasari pemakaian konsep CFD adalah pemahaman lebih dalam akan suatu masalah yang akan diselesaikan atau dalam hal ini pemahaman lebih dalam mengenai karakteristik aliran *fluida* dengan melihat hasil berupa grafik, vector dan animasi.

Persamaan matematis yang biasa digunakan berdasarkan kepada hukum konservasi dari pergerakan *fluida*. Berikut ini adalah persamaan konservasi pergerakan *fluida* yang digunakan pada CFD yang diambil dari tesis Asyikin (2012):

#### 1. Hukum Konservasi Massa

Hukum konservasi massa dapat diekspresikan dengan persamaan kontinuitas dalam bentuk umum berikut ini:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2.7)$$

dengan,

$i, j$  = 1, 2, 3.

$x_1$  dan  $x_2$  = arah stream wise dan stream normal untuk bidang 2D, jika dalam bidang 3D, maka ditambahkan  $x_3$ .

$u_1, u_2, u_3$  = komponen kecepatan (m/s)

$t$  = waktu (s)

$\rho$  = berat jenis *fluida* (kg/m<sup>3</sup>)

#### 2. Hukum Konservasi Momentum

Hukum konservasi momentum dapat diekspresikan dengan persamaan Navier Stokes dalam bentuk umum berikut ini:

$$\rho \left[ \frac{\partial \rho}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \delta_{ij} \lambda \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right] + f_i \quad (2.8)$$

dengan,

- $p$  = tekanan (Pa)
- $\nu$  = viskositas dinamis *fluida*
- $\delta_{ij}$  = kronecker delta
- $\lambda$  = koefisien bulk viscosity
- $f_i$  = gaya eksternal (N)

### 3. Hukum Konservasi Energi

Persamaan untuk konservasi energi adalah sebagai berikut:

$$\rho \frac{Dh}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( c \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) + \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2.9)$$

dengan,

- $h$  = entalpi
- $c$  = thermal conductivity
- $T$  = temperature (°C)

Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan perangkat lunak CFD diantaranya adalah sebagai berikut:

- Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen yang membutuhkan akurasi tinggi.
- Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).
- Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain. Dalam desain kerjanya, problem yang ada perlu dideskripsikan ke dalam *software* CFD dengan menggambarkan model yang dianalisa, sifat-



sifat *fluida* yang ada di sekitar model dan juga penentuan kondisi batasnya. Selanjutnya dalam *solver* problem yang ada akan dihitung dengan pendekatan persamaan yang tersedia. Dari hasil perhitungan kemudian didapatkan hasil output dari *running* program CFD.

## 2.8 Metodologi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan analisa sistem yang mencakup aliran *fluida*, perpindahan panas dan fenomena yang terkait, seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi berbasis komputer (numerik). Teknik ini sangat berguna dan dapat diaplikasikan pada bidang industri dan non industri. Code CFD terstruktur atas logaritma numerik, sehingga dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada suatu aliran *fluida*. Code Computational Fluid Dynamic di sini terdiri atas tiga elemen utama yaitu:

- a. Pre *Processor* (CFX Build)
- b. *Solver* manager
- c. Post Procesor (visualize)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada tahap pre-processing, dilakukan definisi permasalahan aliran *fluida* berdasarkan input yang ada untuk mendapatkan solusi terbaik dalam permasalahan penelitian ini Tingkat akurasi solusi CFD dipengaruhi banyak faktor, dan beberapa diantaranya dalam tahap ini.

- a. Pemilihan bentuk dan ukuran domain
- b. Mesh *generation*
- c. Boundary Condition
- d. Model Turbulen
- e. Validasi Model dan simulasi

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

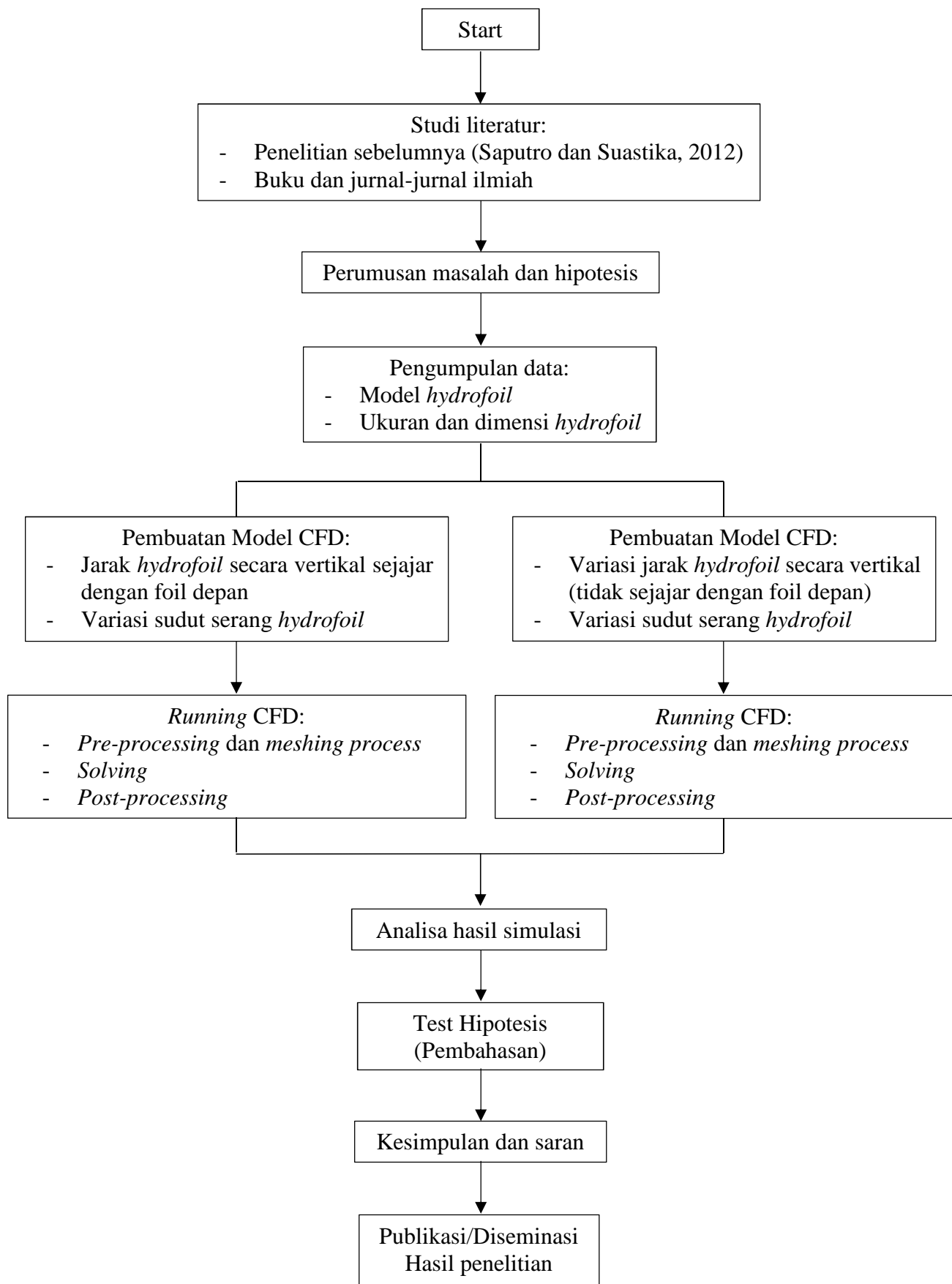
#### 3.1 Bagan Alir Penelitian

Metode penelitian diilustrasikan dengan menggunakan bagan alir penelitian seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.1.

Secara ringkas metode penelitian dapat diuraikan sebagai berikut. Survey literatur dilakukan untuk pemahaman yang komprehensif tentang *topik* penelitian berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Untuk mempelajari performa kapal *hydrofoil* yang dirancang, akan dilakukan kajian eksperimental berupa uji *lift* dan hambatan dari *foil* belakang. Pada penelitian ini, akan dilakukan pemodelan *foil* belakang dengan variasi sudut serang dan variasi jarak *hydrofoil* terhadap LWL kapal secara *vertikal*. Di setiap variasi jarak *hydrofoil* akan divariasikan juga sudut serang dari  $1^0$  sampai dengan  $14^0$ .

Pengujian-pengujian akan dilakukan dengan pemodelan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Pemodelan dan analisa CFD akan dilakukan berdasarkan perangkat lunak open source dikenal dengan nama openfoam. Penggunaan perangkat lunak open source mempunyai beberapa keunggulan, yaitu tim peneliti dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan *software* (model numerik) dan tidak ada biaya lisensi sama sekali. Hal ini sangat kontras dengan penggunaan perangkat lunak close circuit (bukan open source) dimana pengguna tidak dilibatkan dalam pengembangan *software* dan biaya lisensi yang relatif sangat tinggi.

Hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya akan dibandingkan dengan hasil pemodelan CFD. Kesimpulan dan saran (rekomendasi) yang dihasilkan ditargetkan untuk dipublikasikan dalam jurnal nasional/seminar internasional.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

### 3.1.1 Studi literatur

Dalam penelitian ini, literatur-literatur yang dipelajari adalah penelitian sebelumnya (Saputro dan Suastika, 2012), jurnal-jurnal yang berkaitan langsung dengan penelitian ini dan buku-buku sebagai tambahan referensi dalam penyelesaian masalah. Studi literatur dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru. Studi literatur dapat diperoleh dari buku, tugas akhir, jurnal, *Code/Standard*, peraturan/regulasi baik nasional maupun internasional.

### 3.1.2 Pengumpulan data dan pemodelan

Data yang digunakan adalah data yang bersumber dari jurnal berjudul Kajian Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan *Hydrofoil* Pendukung Terhadap Hambatan Kapal oleh Saputro dan Suastika (2012). Data Kapal Cepat *Hydrofoil* ditunjukkan pada Tabel 3.1, Data Hydrosatics ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal Cepat *Hydrofoil*

LOA	15.85	m
LWL	14.48	m
B	4,00	m
T	0,70	m
H	1.80	m
Displacement	18.75	Ton

### 3.1.3 Pengujian menggunakan CFD

Pada tahap ini, model *foil* yang sudah divariasikan ukuran/dimensinya serta sudut serang, diuji menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (ansys CFX) untuk mengetahui karakteristik dari setiap variasi *foil* yang diuji dan menentukan ukuran *foil* yang paling optimum. Yaitu yang memiliki nilai rasio *lift/drag* ( $C_L/C_D$ ) yang paling baik. Variasi ukuran *foil* yang diuji diperoleh dengan memvariasikan nilai *aspect ratio* (AR) berdasarkan database *foil* NACA. Kapal *hydrofoil craft* tipe *monohull* dengan ukuran panjang 9-40 meter memiliki nilai

*aspect ratio* 6-10 (van walree, 1999, *as cited in* Faltinsen, 2005, p.167). Dan Kapal *hydrofoil craft* tipe *monohull* dengan ukuran panjang 11-40 meter memiliki nilai *aspect ratio* 4-10 (van walree, 1999, *as cited in* Faltinsen, 2005, p.167).

Tabel 3.2 Data Hydrostatics Kapal Cepat *Hydrofoil*

Data Pengukuran	Nilai	Satuan
Displacement	18.75	t
Volume (displaced)	18.29	m <sup>3</sup>
Draft Amidships	0.70	m
Immersed depth	0.70	m
WL Length	14.48	m
Beam max extents on WL	3.68	m
Wetted Area	50.16	m <sup>2</sup>
Max sect. area	1.70	m <sup>2</sup>
Waterpl. Area	43.96	m <sup>2</sup>
Prismatic coeff. (Cp)	0.74	
Block coeff. (Cb)	0.19	
Max Sect. area coeff. (Cm)	0.67	
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0.83	
LCB length	-5.73	from aft end of actual WL (+ve aft) m
LCF length	-6.15	from aft end of actual WL (+ve aft) m
LCB %	-39.59	from aft end of actual WL (+ve aft) % Lwl
LCF %	-42.45	from aft end of actual WL (+ve aft) % Lwl
KB	0.46	m
KG fluid	0.00	m
BMt	2.34	m
BML	32.09	m
GMt corrected	2.80	m
GML	32.55	m
KMt	2.80	m
KML	32.55	m
Immersion (TPc)	0.45	tonne/cm
MTc	0.42	tonne.m
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1)	0.92	tonne.m
Length:Beam <i>ratio</i>	3.94	
Beam:Draft <i>ratio</i>	2.04	
Length:Vol <sup>0.333</sup> <i>ratio</i>	5.50	
Precision	Medium	73 stations

Ukuran *foil* yang optimum kemudian aplikasikan pada model uji kapal cepat *hydrofoil* dengan memfariasikan jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal. Sedangkan *foil* depan tetap pada posisi sesuai dengan penelitian sebelumnya (Saputro dan Suastika,2012). Pengujian ini untuk mengetahui karakteristik kapal cepat *hydrofoil* pada berbagai kondisi fariasi perletakan/jarak *foil* belakang terhadap sarat (T) kapal sehingga diperoleh posisi perletakn *hydrofoil* belakang terhadap sarat kapal yang paling optimum nilai rasio *lift/drag* ( $L_F/D_F$ ).

#### 3.1.4 Analisa hasil pengujian

Dalam tahap ini dilakukan proses penarikan kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang dianalisis diatas. Yakni, karakteristik dari setiap variasi model susunan *hydrofoil*, gaya angkat (*lift*) dan tahanan (*drag*), serta rasio *lift/drag*.

#### 3.1.5 Kesimpulan dan saran

Dengan informasi yang diperoleh dari hasil pengujian, bisa didapatkan kesimpulan mengenai variasi perletakan/jarak dari *foil* belakang terhadap sarat kapal yang optimum dan dijadikan rekomendasi dalam perancangan kapal *hydrofoil*.

### 3.2 Jadwal penelitian

Kegiatan penelitian yang diusulkan direncanakan untuk dilaksanakan dalam kurun waktu 3 (tiga) bulan atau 12 (dua belas) minggu dengan jadwal kegiatan seperti ditunjukkan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan ke-1				Bulan ke-2				Bulan ke-3				Bulan ke-4			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Persiapan dan koordinasi																
2	Studi literatur																
3	Pemodelan dan pengujian CFD																
4	Analisis dan interpretasi hasil CFD																
5	Penulisan laporan kemajuan																
6	Penulisan laporan akhir																
7	Penulisan paper																

## BAB 4

### PEMBUATAN MODEL CFD

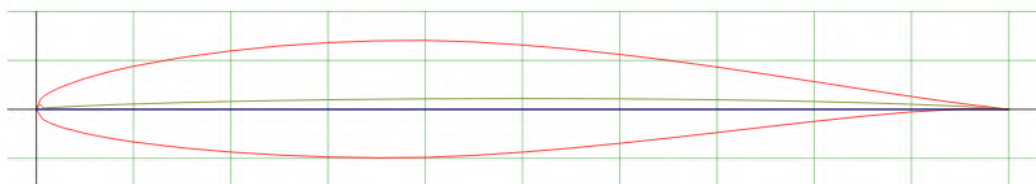
Pada Bab IV ini akan dijelaskan proses pemodelan Kapal cepat *hydrofoil*, proses simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD), proses validasi dari hasil simulasi, metode penyelesaian masalah serta teknik–teknik pengaturan pada aplikasi CFD akan dijelaskan pada bab ini. Pemodelan kapal cepat *hydrofoil* dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu pemilihan desain/ukuran *hydrofoil* dan pemodelan lambung kapal dengan sistem *hydrofoil*. Proses pembuatan model uji dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

#### 4.1 Pembuatan model *hydrofoil*

Model *hydrofoil* yang digunakan adalah NACA 64(1)-212 dengan karakteristik seperti pada tabel 4.1 (calculated polar). Berdasarkan data dari UIUC Airfoil Coordinates Database diperoleh model koordinat model *foil* yang menjadi inputan untuk pemodelan *hydrofoil* pada *software* ICEM. Model dua dimensi dari *foil* NACA 64(1)-212 ditunjukkan pada Gambar 4.1.

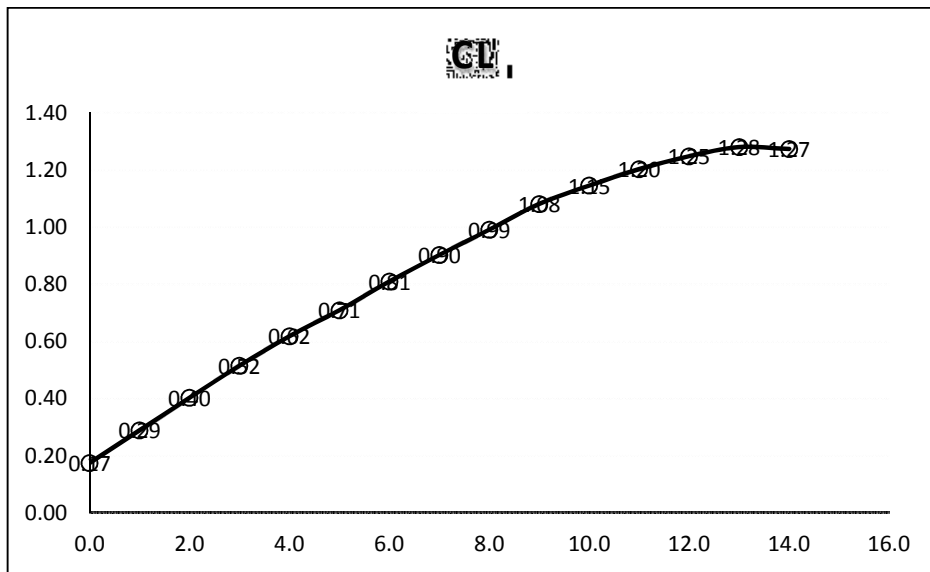
Tabel 4.1 Data Calculated Polar NACA 64(1)-212

$\alpha$	$0^0$	$1^0$	$2^0$	$3^0$	$4^0$	$5^0$	$6^0$	$7^0$
$C_L$	0.17	0.29	0.40	0.52	0.62	0.71	0.81	0.90
$C_D$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
$C_L/C_D$	31.23	50.00	69.67	84.75	83.69	70.05	71.29	71.25
$\alpha$	$7^0$	$8^0$	$9^0$	$10^0$	$11^0$	$12^0$	$13^0$	$14^0$
$C_L$	0.90	0.99	1.08	1.15	1.20	1.25	1.28	1.27
$C_D$	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
$C_L/C_D$	71.25	67.76	64.93	55.24	50.05	44.53	38.23	28.88



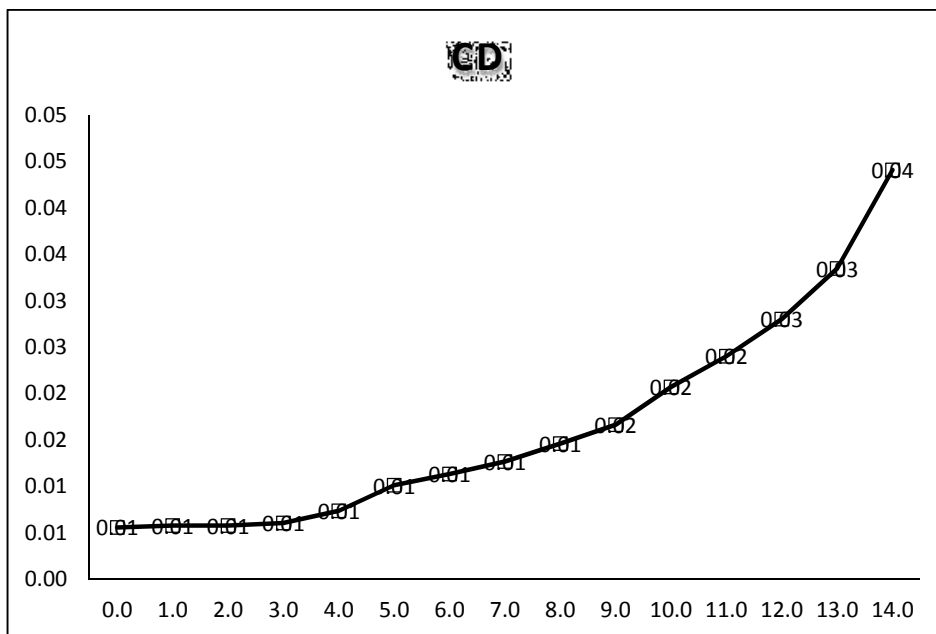
Gambar 4.1 Model *Hydrofoil* NACA 64(1)-212 ([www.airfoiltools.com](http://www.airfoiltools.com))





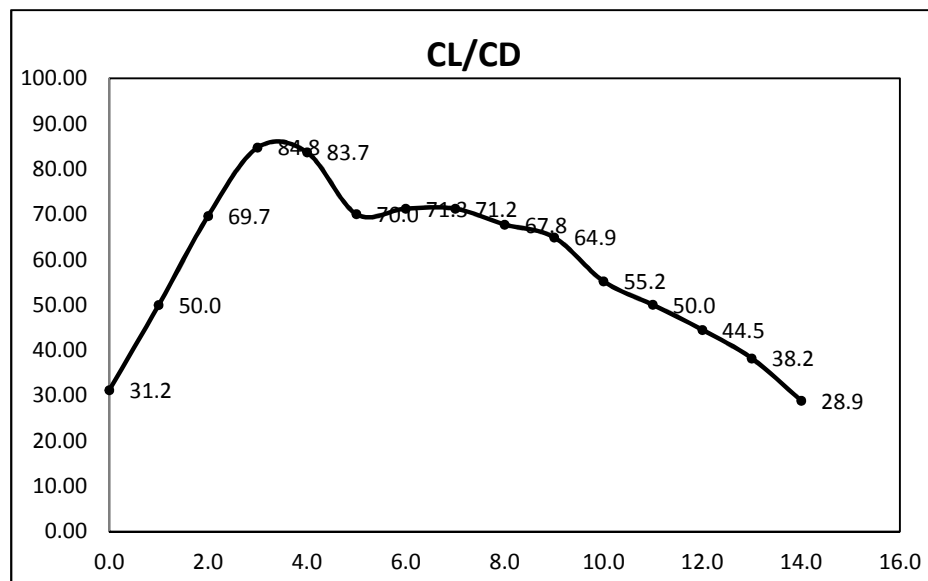
Gambar 4.2 Grafik Koefisien *Lift Foil* NACA 64(1)-212

Gambar 4.2 menunjukkan nilai koefisien *lift* dari *foil* NACA 64(1)-212 berdasarkan data calculated polar pada Tabel 4.1 dengan variasi sudut serang  $0^\circ$  sampai dengan  $14^\circ$ .



Gambar 4.3 Koefisien *Drag Foil* NACA 64(1)-212

Gambar 4.3 menunjukkan nilai koefisien *drag* dari *foil* NACA 64(1)-212 berdasarkan data calculated polar pada tabel 4.1 dengan variasi sudut serang  $0^0$  sampai dengan  $14^0$ . Sedangkan gambar 4.4 menunjukkan nilai rasio *lift* dan *drag* dari *foil* NACA 64(1)-212 berdasarkan data calculated polar pada tabel 4.1 dengan variasi sudut serang  $0^0$  sampai dengan  $14^0$  dimana rasio *lift* dan *drag* terbesar terjadi pada sudut serang  $3,5^0$ .



Gambar 4.4 Grafik Rasio Koefisien *Lift* Dan Koefisien *Drag Foil*  
NACA 64(1)-212

#### 4.1.1 Perhitungan beban *hydrofoil*

Perhitungan beban *hydrofoil* mengikuti persamaan yang digunakan pada pengujian model kapal cepat *hydrofoil* di *towing tank* (Saputro dan Suastika, 2012). Borbye (2006) juga menggunakan persamaan yang sama untuk menghitung beban *hydrofoil* dalam proses desain kapal cepat *hydrofoil*. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Beban } \textit{hydrofoil} \text{ depan} = \frac{\text{Displacement} \times g \times L_B}{L} \quad (4.1)$$

$$\text{Beban } \textit{hydrofoil} \text{ belakang} = \frac{\text{Displacement} \times g \times L_D}{L} \quad (4.2)$$

Dimana  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $\text{m/s}^2$ )

Dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2 diperoleh beban *hydrofoil* sebagai berikut:

a. Beban *foil* depan

Diketahui:

- Jarak *foil* depan dan *foil* belakang ( $L$ ) = 8,640 m
- Jarak *foil* depan dengan titik berat kapal ( $L_D$ ) = 4,612 m
- Jarak *foil* belakang dengan titik berat kapal ( $L_B$ ) = 4,028 m

$$\begin{aligned}
 \text{Beban } \textit{foil} \text{ depan} &= \frac{\text{Displacement} \times g \times L_B}{L} \\
 &= \frac{18750 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 4,028 \text{ m}}{8,640 \text{ m}} \\
 &= 85664,93 \text{ Newton}
 \end{aligned}$$

b. Beban *foil* belakang

$$\begin{aligned}
 \text{Beban } \textit{foil} \text{ belakang} &= \frac{\text{Displacement} \times g \times L_D}{L} \\
 &= \frac{18750 \text{ Kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \times 4,612 \text{ m}}{8,640 \text{ m}} \\
 &= 98085,06 \text{ Newton}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Ukuran *Foil Span* 4 Meter

Alpha	$\alpha$	0 <sup>0</sup>	1 <sup>0</sup>	2 <sup>0</sup>	3 <sup>0</sup>	4 <sup>0</sup>	5 <sup>0</sup>	6 <sup>0</sup>	7 <sup>0</sup>	8 <sup>0</sup>	9 <sup>0</sup>	10 <sup>0</sup>	11 <sup>0</sup>	12 <sup>0</sup>	13 <sup>0</sup>	14 <sup>0</sup>
Koefisien <i>Lift</i>	$C_L$	0.17	0.29	0.40	0.52	0.62	0.71	0.81	0.90	0.99	1.08	1.15	1.20	1.25	1.28	1.27
Koefisien <i>Drag</i>	$C_D$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04
Rasio $C_L/C_D$	$C_L/C_D$	31.23	50.00	69.67	84.75	83.69	70.05	71.29	71.25	67.76	64.93	55.24	50.05	44.53	38.23	28.88
Luasan <i>Foil</i> (m <sup>2</sup> )	$S = \frac{L}{\rho V_d^2 C_L}$	6.03	3.64	2.61	2.04	1.70	1.48	1.30	1.17	1.06	0.97	0.92	0.88	0.84	0.82	0.83
<i>Aspect Ratio</i>	$AR = \frac{b}{c} = \frac{b^2}{S}$	2.65	4.40	6.13	7.83	9.39	10.78	12.30	13.72	15.06	16.43	17.40	18.27	18.96	19.45	19.35
<i>Chord</i> (m)	$c = \frac{b}{AR}$	1.51	0.91	0.65	0.51	0.43	0.37	0.33	0.29	0.27	0.24	0.23	0.22	0.21	0.21	0.21

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Ukuran *Foil Span* 5 Meter pada Kondisi AR Tetap (AR = tabel 4.2)

<i>Aspect Ratio</i>	Tabel 4.2	2.65	4.40	6.13	7.83	9.39	10.78	12.30	13.72	15.06	16.43	17.40	18.27	18.96	19.45	19.35
<i>Chord</i> (m)	$c = \frac{b}{AR}$	1.89	1.14	0.82	0.64	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.30	0.29	0.27	0.26	0.26	0.26
Luasan <i>Foil</i> (m <sup>2</sup> )	$\frac{b^2}{AR}$	9.43	5.69	4.08	3.19	2.66	2.32	2.03	1.82	1.66	1.52	1.44	1.37	1.32	1.29	1.29

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Ukuran *Foil Span* 5 Meter pada Kondisi AR Berubah

Luasan <i>Foil</i> (m <sup>2</sup> )	$S_f = \frac{L}{\rho V_d^2 C_L}$	6.03	3.64	2.61	2.04	1.70	1.48	1.30	1.17	1.06	0.97	0.92	0.88	0.84	0.82	0.83
<i>Aspect Ratio</i>	$AR = \frac{b}{c} = \frac{b^2}{S}$	4.14	6.87	9.57	12.23	14.68	16.84	19.22	21.44	23.53	25.67	27.19	28.55	29.63	30.38	30.23
<i>Chord</i> (m)	$C = \frac{b}{AR}$	1.21	0.73	0.52	0.41	0.34	0.30	0.26	0.23	0.21	0.19	0.18	0.18	0.17	0.16	0.17

#### 4.1.2 Ukuran *hydrofoil*

Berdasarkan data nilai koefisien *lift* ( $C_L$ ) pada Tabel 4.1 dan kebutuhan *lift* sebesar 98.085,0694 Newton, dilakukan perhitungan panjang *chord hydrofoil* yang akan digunakan pada *span* 4 (empat) meter. Hasil yang diperoleh bervariasi berdasarkan input nilai koefisien *lift* ( $C_L$ ). Begitupun nilai *aspect ratio* (AR) yang diperoleh juga bervariasi. Nilai *Aspect ratio* yang digunakan adalah 4 – 10 (van walree, 1999, *as cited in* Faltinsen, 2005, p.167). Kemudian nilai *aspect ratio* yang dipilih tadi kemudian digunakan juga untuk menentukan panjang *chord* pada *span* 5 (lima) meter. Selanjutnya dilakukan juga perhitungan panjang *chord* dan nilai *aspect ratio* seperti pada *span* 4 (empat) meter tetapi kali ini menggunakan *span* 5 (lima) meter. Adapun variasi ukuran *voil* yang diperoleh dan akan dilakukan pengujian menggunakan computational fluid dynamics (CFD):

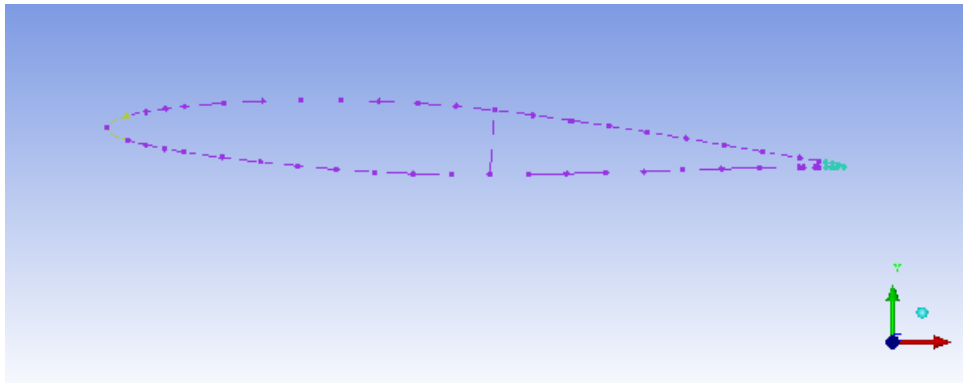
1. Foil A (*chord* 0,91 ; AR 4,40 ; *span* 4 meter)
2. Foil B (*chord* 0,65 ; AR 6,13 ; *span* 4 meter)
3. Foil C (*chord* 0,51 ; AR 7,83 ; *span* 4 meter)
4. Foil D (*chord* 0,43 ; AR 9,39 ; *span* 4 meter)
5. Foil E (*chord* 1,21 ; AR 4,14 ; *span* 5 meter)
6. Foil F (*chord* 1,14 ; AR 4,40 ; *span* 5 meter)
7. Foil G (*chord* 0,82 ; AR 6,13 ; *span* 5 meter)
8. Foil H (*chord* 0,64 ; AR 7,83 ; *span* 5 meter)
9. Foil I (*chord* 0,53 ; AR 9,39 ; *span* 5 meter)
10. Foil J (*chord* 0,73 ; AR 6,87 ; *span* 5 meter)
11. Foil K (*chord* 0,52 ; AR 9,57 ; *span* 5 meter)

Perhitungan dimensi ukuran *hydrofoil* selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, dan Tabel 4.4.

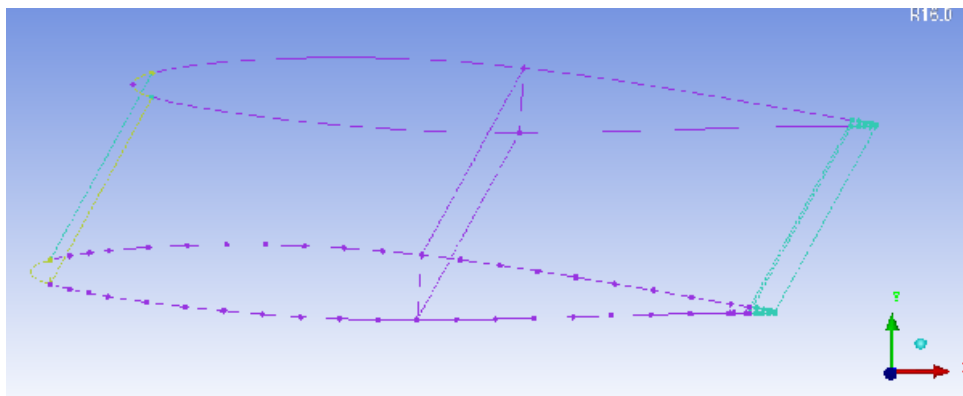
#### IV.1.3 Model *hydrofoil*

Pembuatan model *hydrofoil* dengan memvariasikan sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$ . Ordinat *foil* yang diperoleh dari UIUC Airfoil Coordinates Database dimasukkan sebagai inputan ke dalam software ICEM sehingga diperoleh model *hydrofoil* 2D (dua dimensi) yang kemudian di stretch sepanjang *span* 4 (empat) dan

5 (lima) meter (Gambar 4.5 dan 4.6). Model *hydrofoil* 3D (tiga dimensi) tersebut kemudian di skalakan untuk memperoleh ukuran *chord foil*.



Gambar 4.5 Desain 2D *Hydrofoil* NACA 64(1)-212



Gambar 4.6 Desain 3D *Hydrofoil* NACA 64(1)-212

#### 4.1.4 *Meshing model hydrofoil*

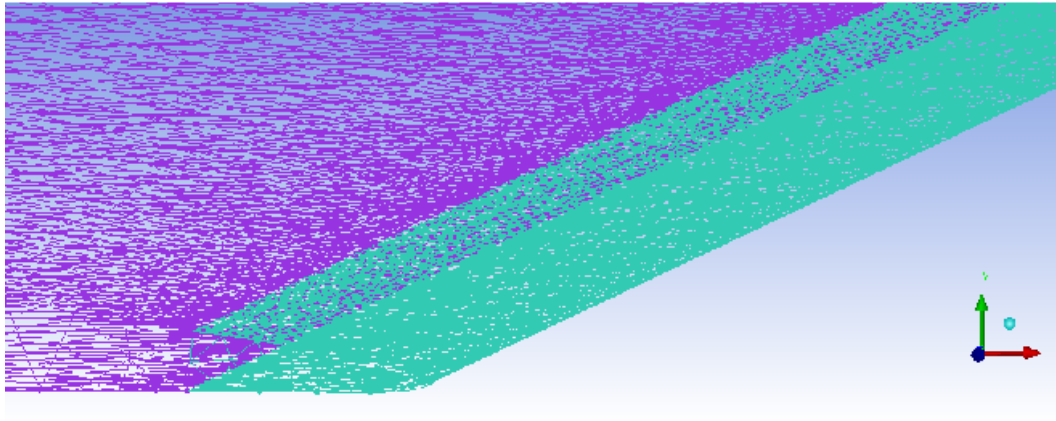
Setelah model 3D *hydrofoil* dibuat, tahap selanjutnya adalah proses *meshing* menggunakan *software* ICEM CFD. Caranya adalah dengan membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil (segitiga, tetra/mixed, hexa-dominant) yang disebut cell. Gabungan dari cell-cell tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut mesh atau *grid* karena gabungan dari elemen-elemen tersebut membentuk seperti jala (Gambar 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, dan 4.11). Setelah model 3D hasil pemodelan dari *software* Maxsurf di-export ke dalam bentuk file .igs, selanjutnya pada ICEM CFD file tersebut di-import untuk kemudian dilakukan

Part	Form	Base type	Maximum size	Height	Height ratio	Radius	Radius ratio	Thickness	Thickness ratio	Internal link	Max distance	Internal wall	Bottom wall
Bottom	<input type="checkbox"/>		CE	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Box	<input type="checkbox"/>		C	C	0	C		C		0	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Top	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
U_L4	<input type="checkbox"/>		LP	L	0	L	0	L	0	L	L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ULET	<input type="checkbox"/>		CE	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LESINE	<input type="checkbox"/>		CM	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OUTLET	<input type="checkbox"/>		CF	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LP	<input type="checkbox"/>		LE	L	0	L	0	L	0	L	L	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TRAILERS	<input type="checkbox"/>		CMG	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
WALL	<input type="checkbox"/>		CE	C	0	C	0	C	0	C	C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

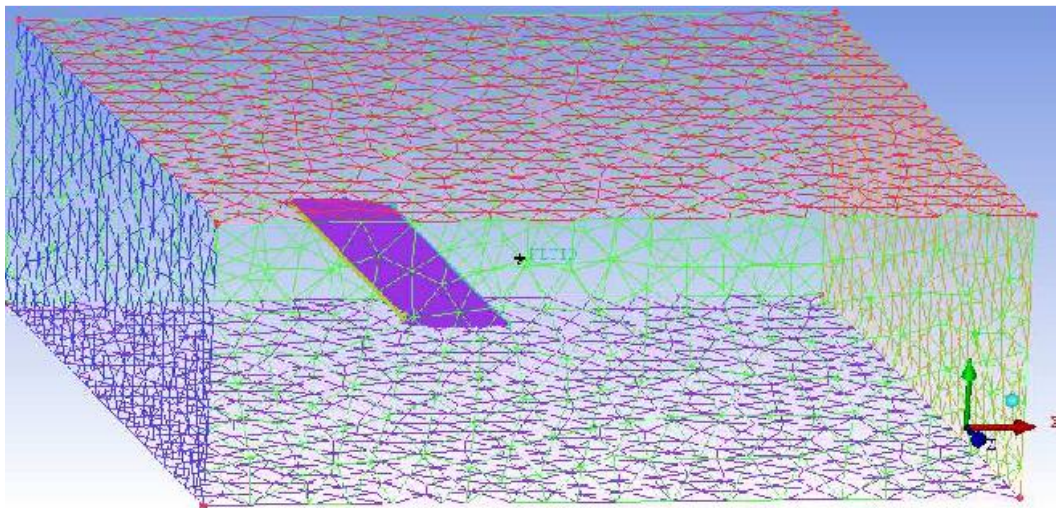
☒ Show top pattern using scale factor  
☐ Apply initial parameters to curves  
☐ Remove initial parameters from curves  
 If the initial parameters are not set, the section thickness is always the initial thickness

33





Gambar 4.10 Detail *Meshing* Bagian *Trailing Hydrofoil*



Gambar 4.11 Hasil *Meshing* Simulasi Model Uji

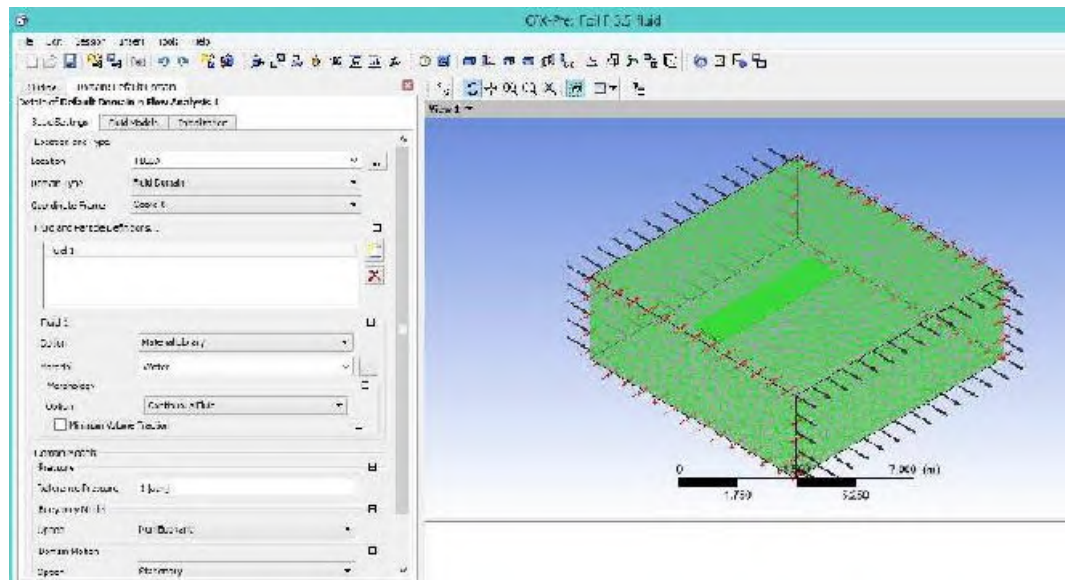
#### 4.1.5 Simulasi CFD model *hydrofoil*

Simulasi CFD yang dilakukan untuk mendapatkan *lift force* dan *drag force* pada setiap variasi sudut serang model *hydrofoil*. Tahap pengujian dengan aplikasi CFD dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu tahap *pre-processor*, *processor/solver*, dan tahap *post-processor*.

**a. Tahap *pre-processor***

**i. Kondisi domain**

Domain dapat didefinisikan sebagai tempat atau media dimana model uji bergerak (Gambar 4.12). Dalam hal ini media gerak model *hydrofoil* adalah air laut dengan density  $1025 \text{ kg/m}^3$  pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$ . Digunakan model aliran turbulent k-epsilon pada simulasi ini. K-Epsilon merupakan model dua dimensi yang cukup lengkap dengan dua persamaan yang memungkinkan kecepatan turbulen dan skala panjang ditentukan secara independen.



Gambar 4.12 Kondisi Default Domain

**ii. Kondisi *inlet***

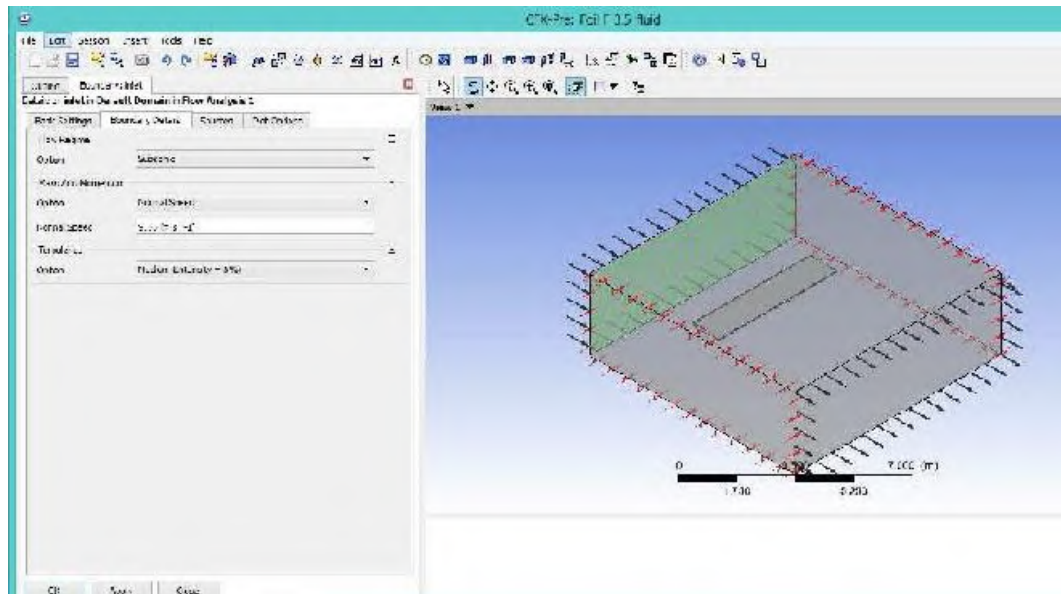
Pada bagian sisi dimana tempat aliran *fluida* masuk disebut *Inlet* (Gambar 4.13), pada sisi ini dicantumkan kecepatan dari aliran *fluida* yang disamakan dengan kecepatan gerak sayap. Pada simulasi ini *fluida* diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan model *hydrofoil* pada posisi seolah-olah diam.

**iii. Kondisi *outlet***

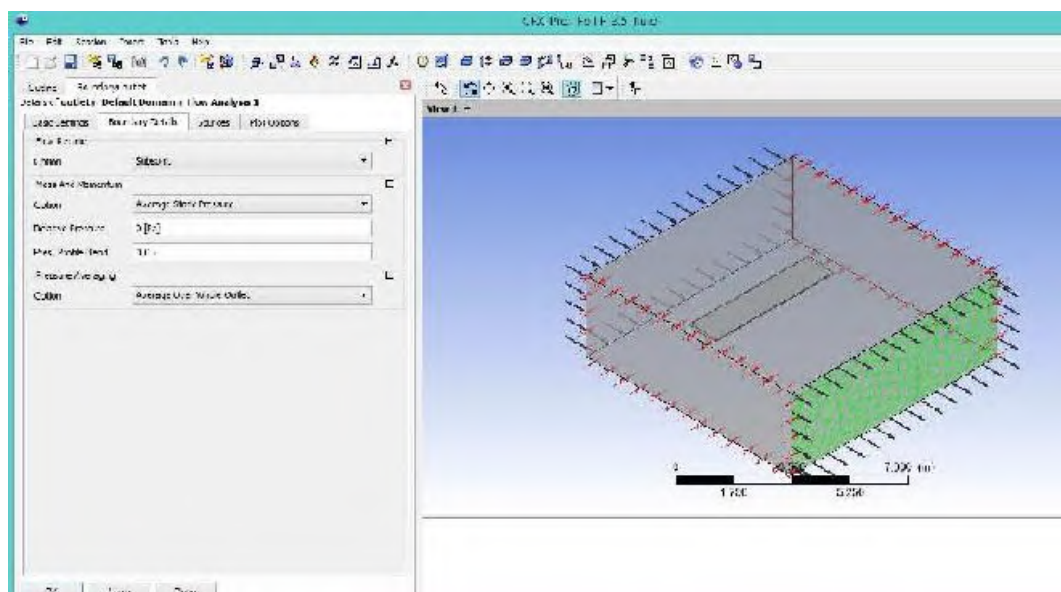
*Outlet* (Gamabr 4.14) adalah bidang sisi keluarnya *fluida*. Pada daerah ini dilakukan pengaturan berupa “Average static pressure”.

iv. Kondisi *foil* (objek simulasi)

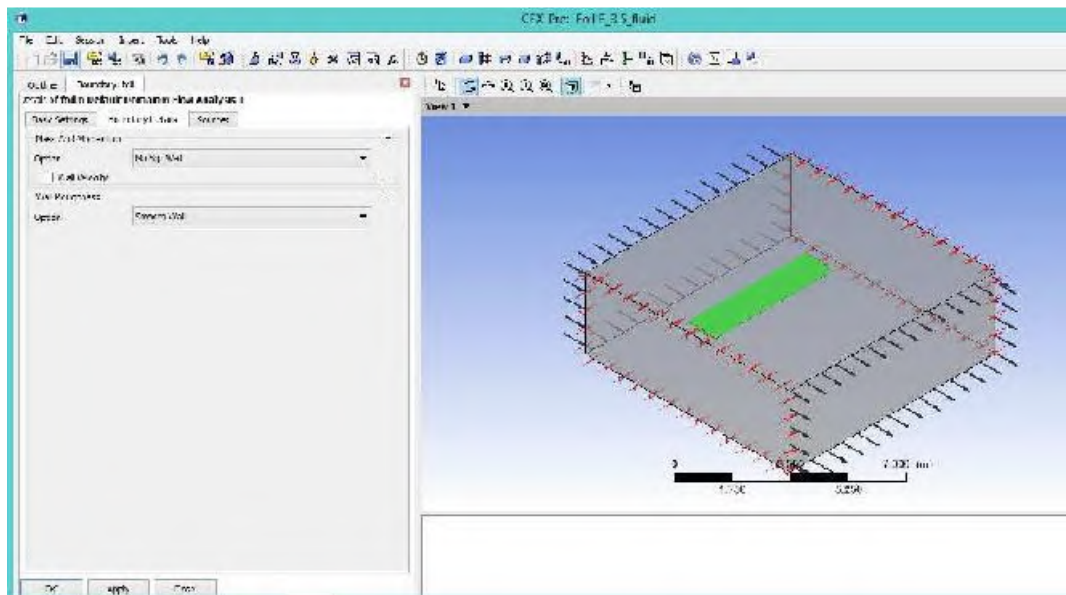
*Foil* adalah model uji yang disimulasikan. Pada bagian ini ini dilakukan pengaturan mass and momentum pada kondisi “no slip wall” dan wall roughness “smooth wall” (Gambar 4.15).



Gambar 4.13 Kondisi *Inlet*



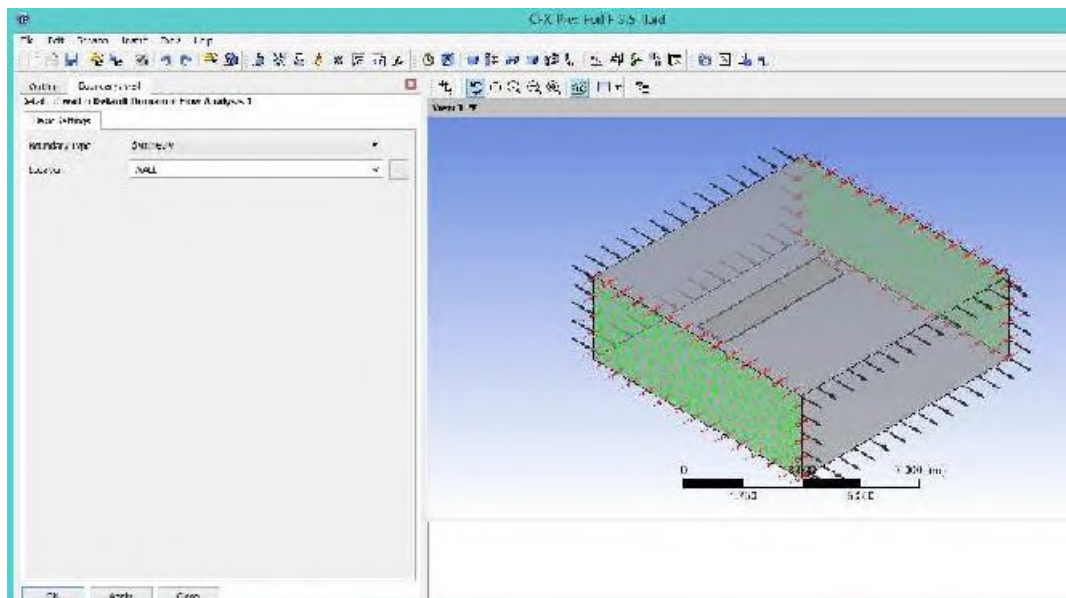
Gambar 4.14 Kondisi *Outlet*



Gambar 4.15 Kondisi *Foam*

v. Kondisi batas *wall (side)*

Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi symmetry (Gambar 4.16). Yaitu suatu kondisi dimana tekanan yang ada di dalam boundary sama dengan tekanan yang ada di luar boundary.

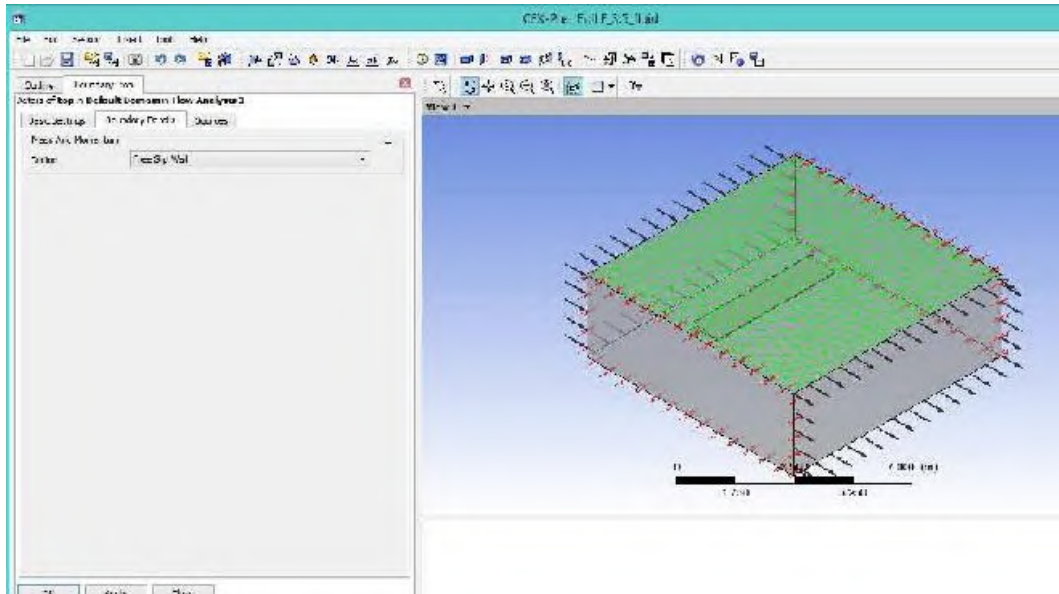


Gambar 4.16 Kondisi *Wall (Side)*



vi. Kondisi batas *top*

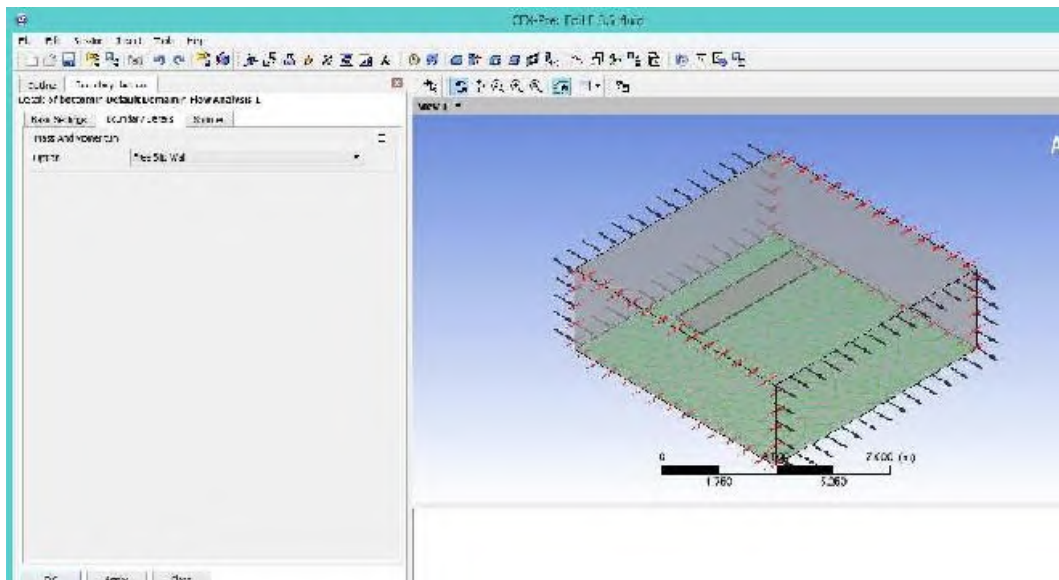
Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan free *slip wall* (Gambar 4.17).



Gambar 4.17 Kondisi Batas *Top*

vii. Kondisi batas *bottom*

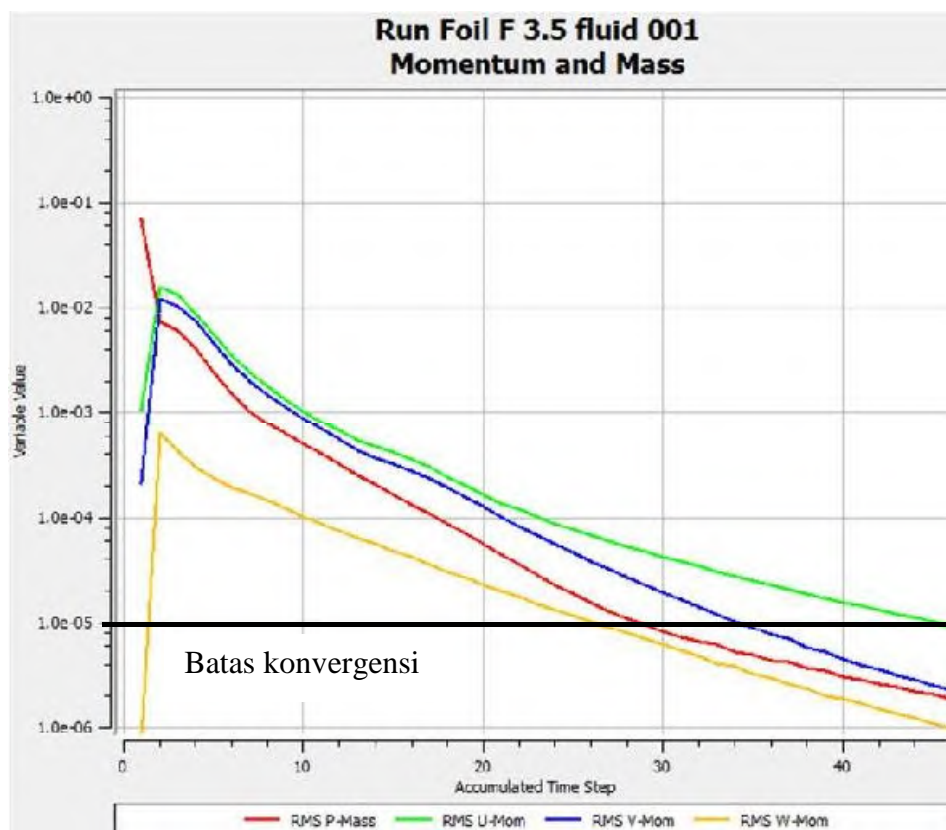
Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan free *slip wall* (Gambar 4.18).



Gambar 4.18 Kondisi Batas *Bottom*

### b. Tahap *processor/solver*

Tahap *processor* atau yang dikenal dengan proses *solver* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan setelah proses *pre processor* dilakukan. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan accumulated time step sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan variable value (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai  $10^{-6}$  yang ditentukan pada saat tahap *pre-processor* ditentukan batas variable value adalah  $10^{-5}$  untuk pengujian model *hydrofoil* (Gambar 4.19).



Gambar 4.19 Grafik Hasil Proses *Running Model Hydrofoil*

Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver* control yang bertujuan meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari

model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah *grid* dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. *Convergence* criteria yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah  $10^{-6}$ . Yang artinya proses perhitungan atau *running* akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan seperti disebutkan pada gambar mencapai hasil dengan tingkat *error* sebesar  $10^{-6}$ .

#### **c. Tahap post-processor**

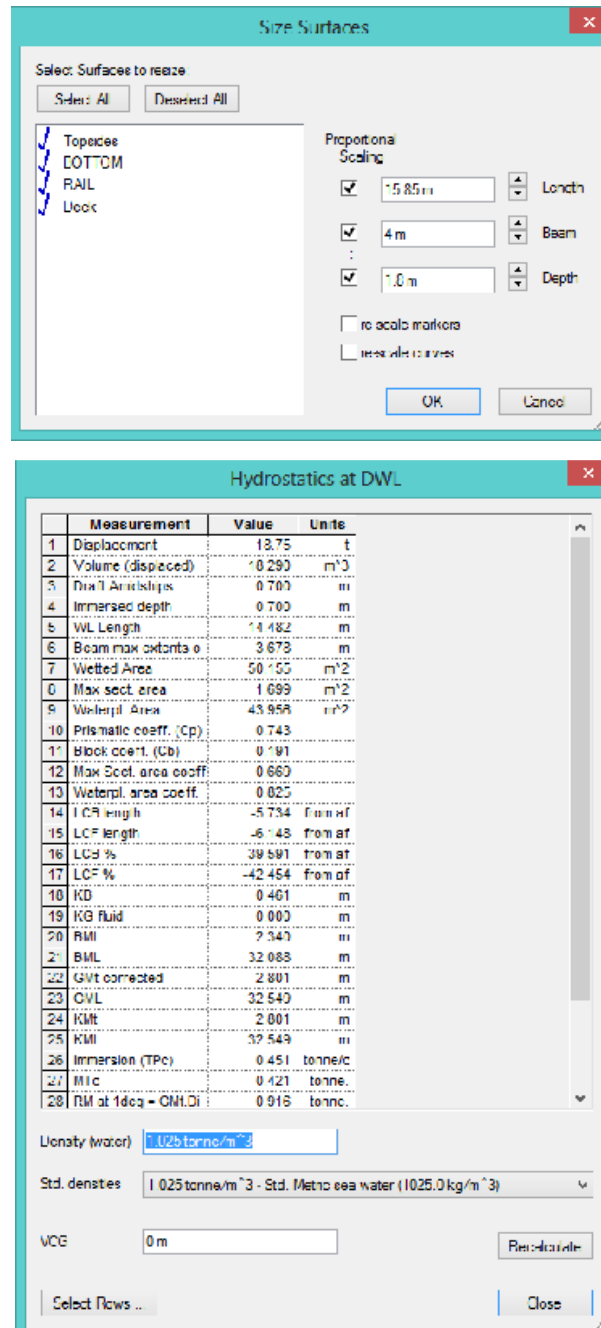
Pada tahap final digunakan *software* ANSYS CFX-POST , program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa angka hasil pengukuran, gambar, kurva, dan animasi.

### **4.2 Pembuatan model kapal cepat**

Pembuatan model lambung dilakukan dengan metode Parent Design Approach terhadap kapal pembanding. Penyesuaian karakteristik hidrostatis model lambung dilakukan menggunakan *software* Maxsurf. Ukuran utama model uji pada penelitian ini didapatkan dengan melakukan penyesuaian dengan menyekalakan ukuran utama model yang telah diuji tarik menggunakan *software* Maxsurf. Proses penyekalaan model pada aplikasi Maxsurf dilakukan menggunakan menu “size surface”. Setelah jendela *size surface* terbuka, semua *surface* penyusun model harus dicentang. Untuk menyesuaikan ukuran utama kapal secara global pada model kapal cepat, maka pada jendela *size surface* harus dicentang pada kolom *length*, *beam* dan *depth*. Setelah itu dilanjutkan dengan melakukan penyesuaian sarat sesuai dengan skala model yang digunakan. Setelah itu dilakukan koreksi terhadap displacement kapal.

Adapun data ukuran utama kapal yang menjadi acuan untuk membuat model uji berdasarkan data kapal cepat *hydrofoil* pada tabel 3.1 dan 3.2. Data tersebut kemudian di sesuaikan dengan data model uji pada *software* Maxsurf sebelum

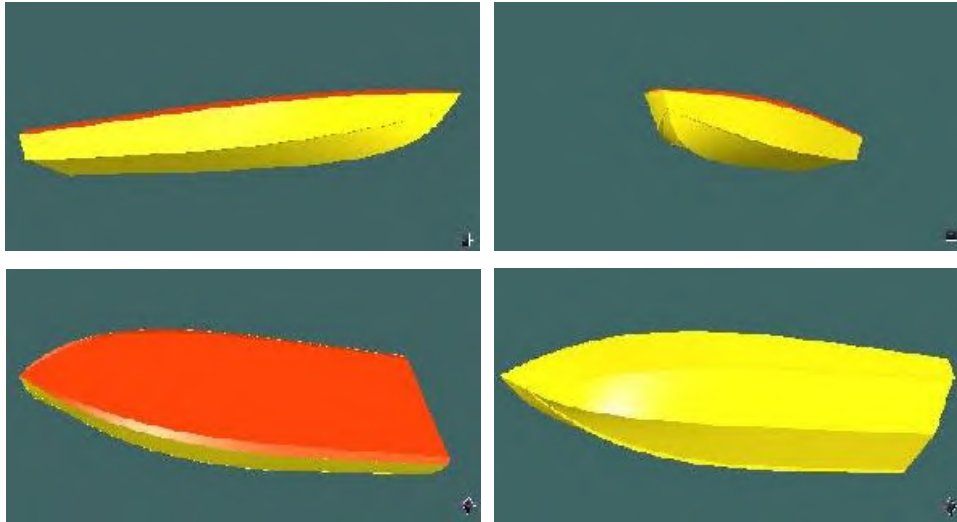
diconvert dalam format \*.IGES. Data ukuran utama dan hydrostatic kapal cepat *hydrofoil* pada *software* maxsurf ditunjukkan pada Gambar 4.20.



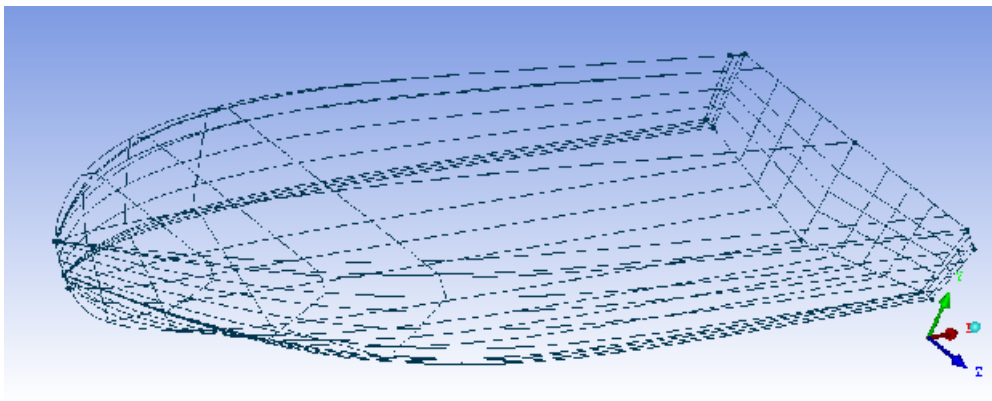
Gambar 4.20 Proses Penyesuaian Ukuran Model Ujimengunakan *Software* Maxsurf Modeller V20



Bentuk visualisasi dari model Uji 3D yang telah dibuat ditampilkan pada Gambar 4.21 dan 4.22. Gambar 4.21 menunjukkan model 3D kapal cepat *hydrofoil* pada *software* maxsurf, sedangkan gambar 4.22 menunjukkan model 3D kapal cepat *hydrofoil* pada *software* ICEM CFD.



Gambar 4.21 Model Uji Kapal Cepat (Software Maxsurf)

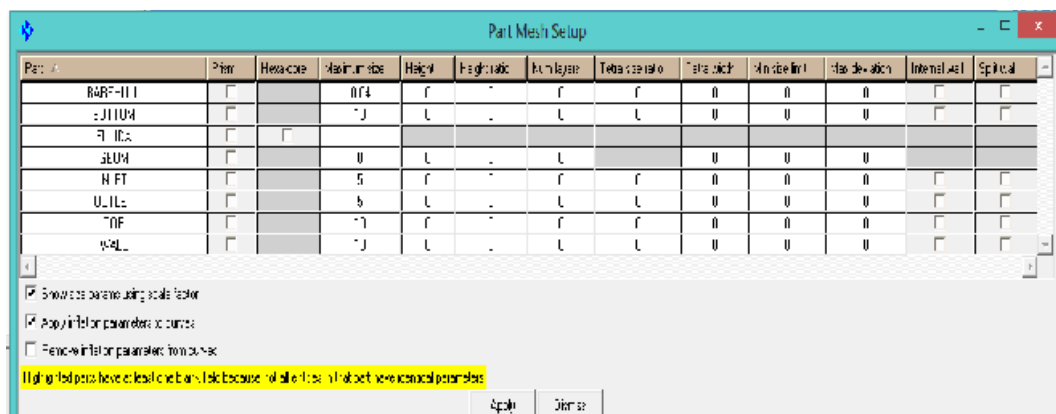


Gambar 4.22 Model Uji Kapal Cepat (Software ICEM CFD)

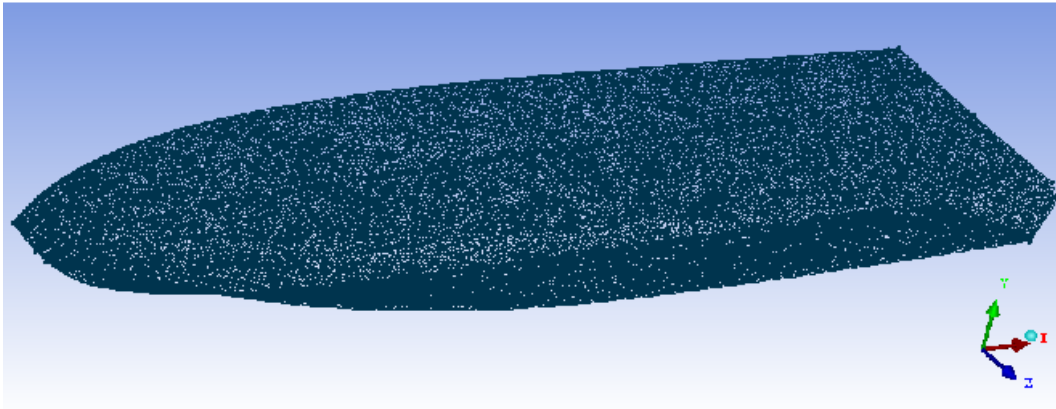
Setelah bentuk badan kapal selesai dimodelkan, tahap selanjutnya adalah mengekspor model uji dalam bentuk NURB *surface* dengan format (nama\_file .igs). Proses pengeksportan model diperlukan untuk menyamakan format file dengan file yang mampu untuk dibaca oleh *software* ICEM CFD, sehingga dapat dilakukan proses *meshing*.

#### 4.2.1 Meshing model uji kapal cepat

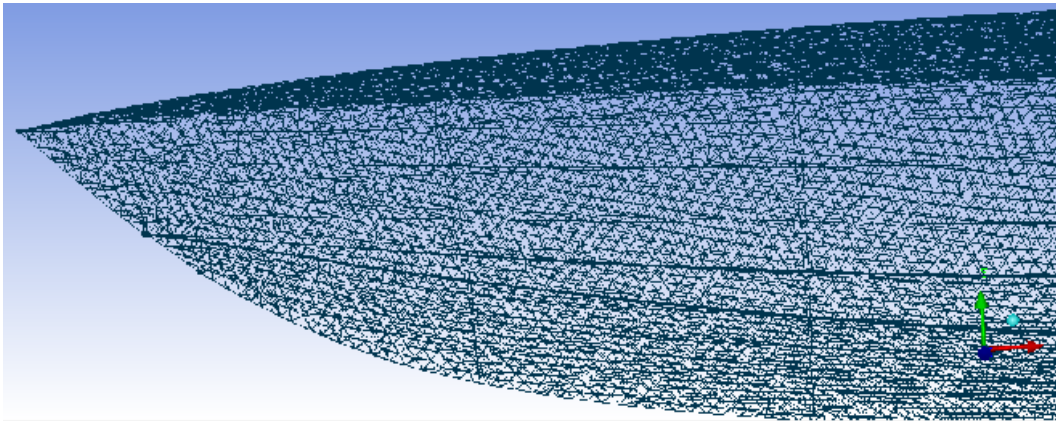
Setelah model 3D kapal cepat dibuat, tahap selanjutnya adalah proses *meshing* menggunakan *software* ICEM CFD dengan membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil (segitiga, tetra/mixed, hexa-dominant) yang disebut cell. Gabungan dari cell-cell tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut mesh atau *grid* karena gabungan dari elemen-elemen tersebut membentuk seperti jala. Setelah model 3D hasil pemodelan dari *software* Maxsurf di export ke dalam bentuk file .igs, selanjutnya pada ICEM CFD file tersebut di import untuk kemudian dilakukan pembuatan domain komputasi seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya yaitu terdiri dari: *inlet*, *outlet*, *wall*, *top*, dan *bottom*. Domain-domain tersebut berbentuk persegi panjang yang diberi *surface* dan membentuk balok yang mengelilingi model uji kapal cepat. Setelah domain terbentuk, selanjutnya dilakukan *meshing* pada model uji, *fluida*, dan domain itu sendiri. Pengaturan *meshing* ditunjukkan pada Gambar 4.23. Detail *meshing* dari model uji ditunjukkan pada Gambar 4.24, 4.25, 4.26, dan 4.27.



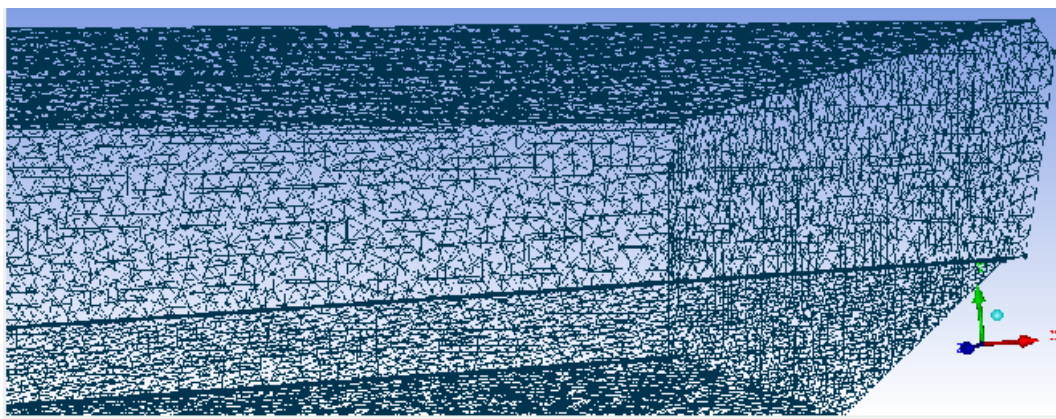
Gambar 4.23 Pengaturan *Meshing* Model Uji Kapal Cepat



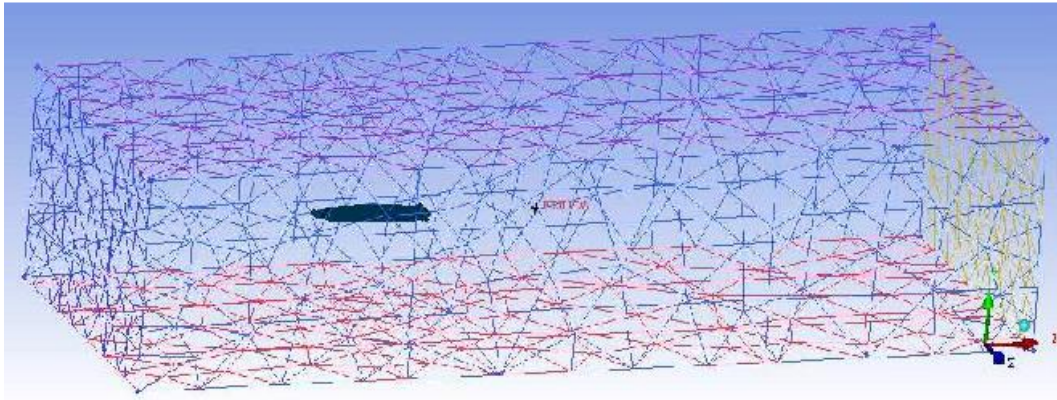
Gambar 4.24 Hasil *Meshing* Model Uji Kapal Cepat



Gambar 4.25 Detail *Meshing* Bagian Haluan Model Uji Kapal Cepat



Gambar 4.26 Detail *Meshing* Bagian Buritan Model Uji Kapal Cepat



Gambar 4.27 Hasil *Meshing* Model Uji dan Boundary Layer

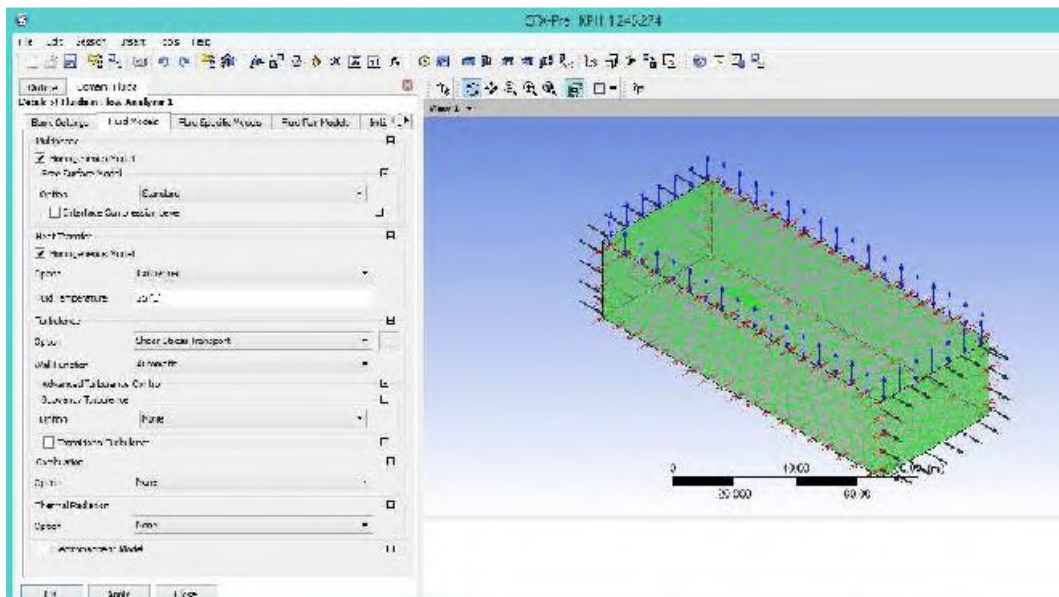
#### 4.2.2 Simulasi CFD model kapal cepat

Simulasi CFD yang dilakukan untuk mendapatkan *drag force* model kapal cepat untuk digunakan sebagai validasi data kesesuaian model uji dengan model kapal uji di towink tank. Tahap pengujian dengan aplikasi CFD dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu tahap *pre-processor*, *processor/solver*, dan tahap *post-processor*.

##### a. Tahap *pre-processor*

###### 1. Kondisi domain

Domain dapat didefinisikan sebagai tempat atau media dimana model uji bergerak. Dalam hal ini media gerak model *hydrofoil* adalah air laut dengan density  $1025 \text{ kg/m}^3$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$ . Digunakan model aliran turbulent sea state transport (SST) pada simulasi ini. Untuk komputasi dan simulasi, digunakan model turbulensi SST (Shear Stress Transport), (Menter, 1993 dan 1994). Model turbulensi SST telah divalidasi dalam sejumlah studi/riset (Bardina dkk. 1997; Swennberg, 2000) yang dianggap sebagai model yang paling akurat untuk berbagai aplikasi aliran. Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis  $(k-\omega)$  pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis  $(k-\epsilon)$  pada aliran massal. Kondisi domain ditunjukkan pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28 Kondisi Default Domain Model Uji Kapal Cepat

## 2. Kondisi *inlet*

Pada bagian sisi dimana tempat aliran *fluida* masuk disebut *Inlet*, pada sisi ini dicantumkan kecepatan dari aliran *fluida* yang disamakan dengan kecepatan gerak model kapal cepat. Pada simulasi ini *fluida* diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan model *hydrofoil* pada posisi seolah-olah diam. Pengaturan kondisi *inlet* ditunjukkan pada Gambar 4.29.

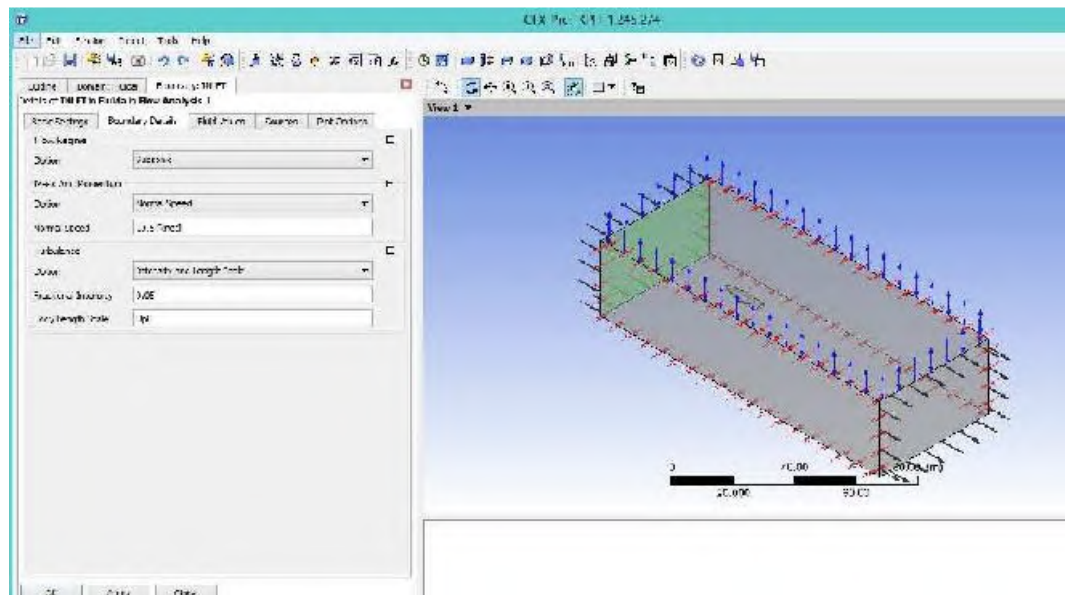
## 3. Kondisi *outlet*

*Outlet* adalah bidang sisi keluarnya *fluida*. Pada daerah ini dilakukan pengaturan berupa “static pressure” (Gambar 4.30).

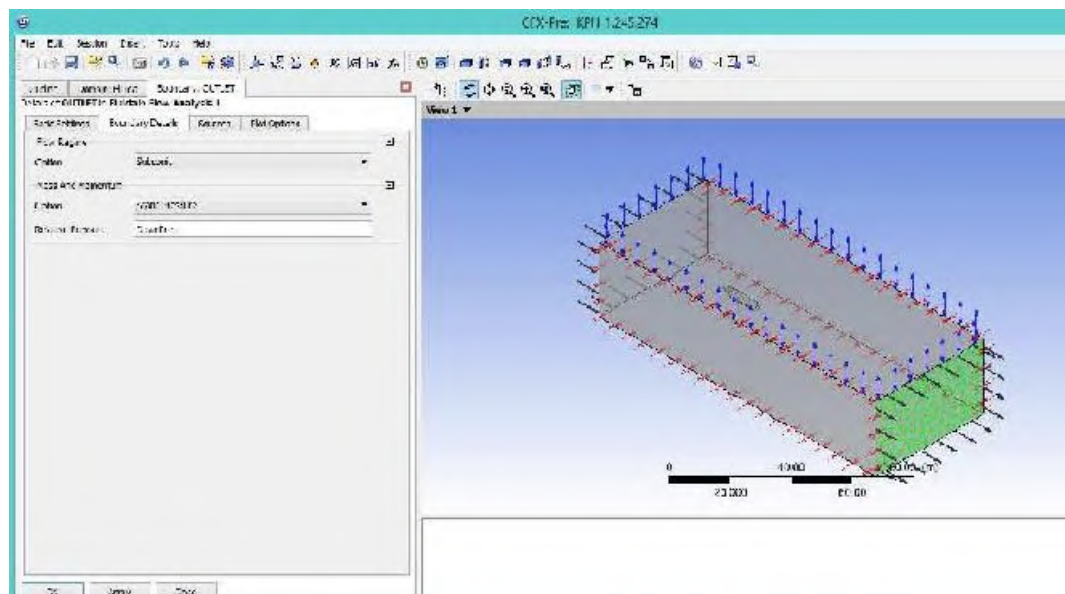
## 4. Kondisi Kapal cepat (objek simulasi)

Kapal cepat adalah model uji yang disimulasikan. Pada bagian ini ini dilakukan pengaturan mass and momentum pada kondisi “no slip wall” dan wall roughness “smooth wall” (Gambar 4.31).

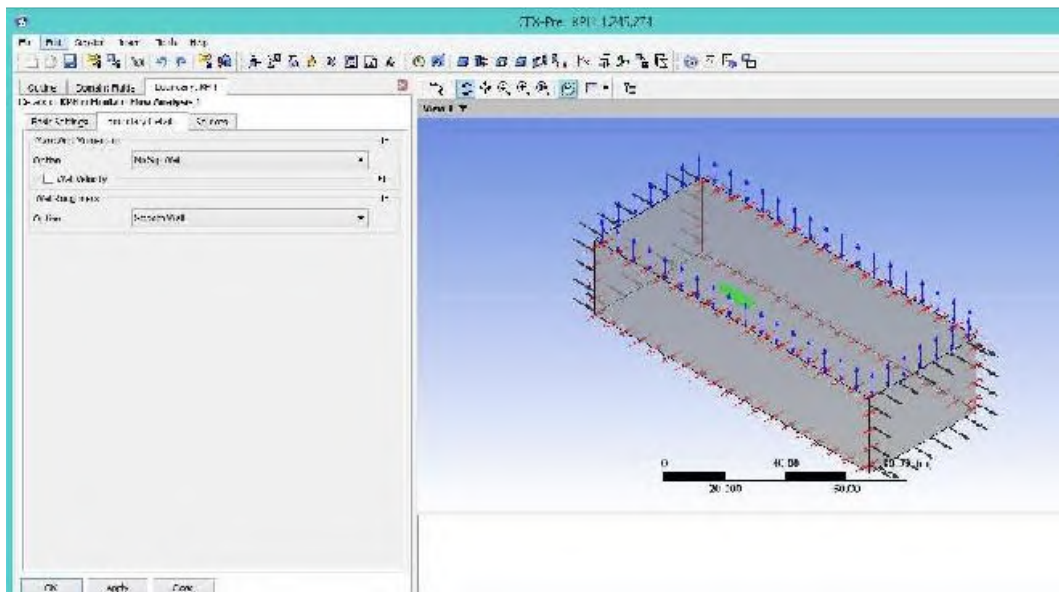




Gambar 4.29 Kondisi *Inlet* Model Uji Kapal Cepat



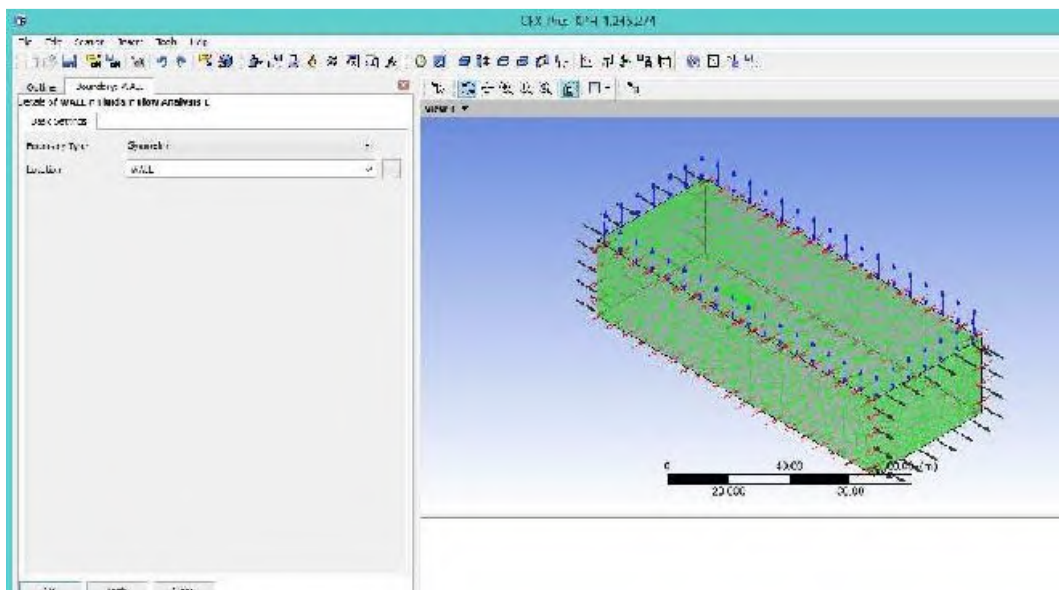
Gambar 4.30 Kondisi *Outlet* Model Uji Kapal Cepat



Gambar 4.31 Kondisi Model Uji Kapal Cepat

##### 5. Kondisi batas *wall (side)*

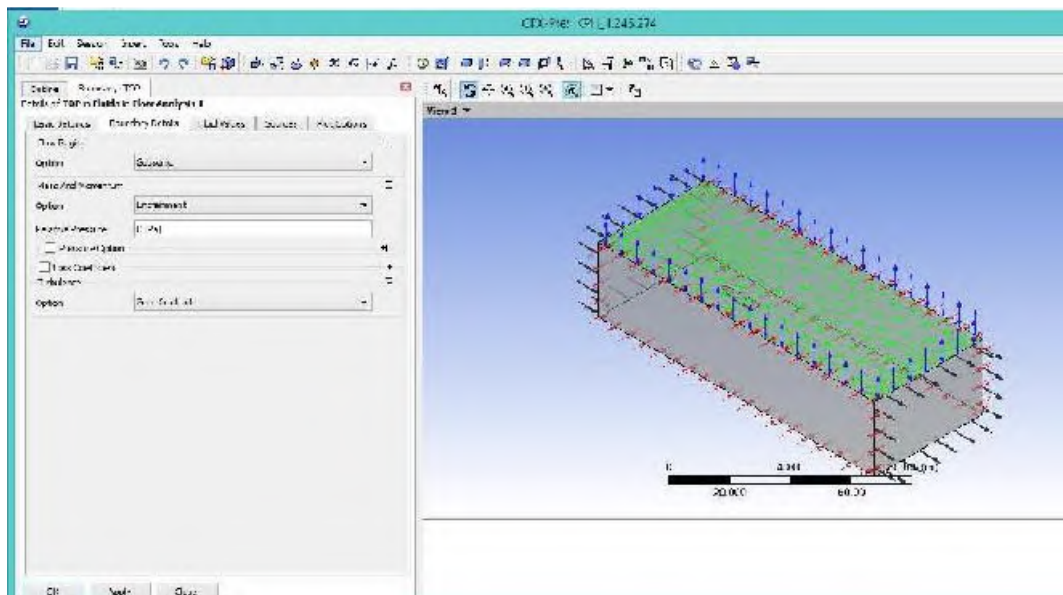
Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi symmetry (Gambar 4.32). Yaitu suatu kondisi dimana tekanan yang ada di dalam boundary sama dengan tekanan yang ada di luar boundary.



Gambar 4.32 Kondisi *Wall (Side)* Model Uji Kapal Cepat

#### 6. Kondisi batas *top*

Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan *free slip wall* (Gambar 4.33).

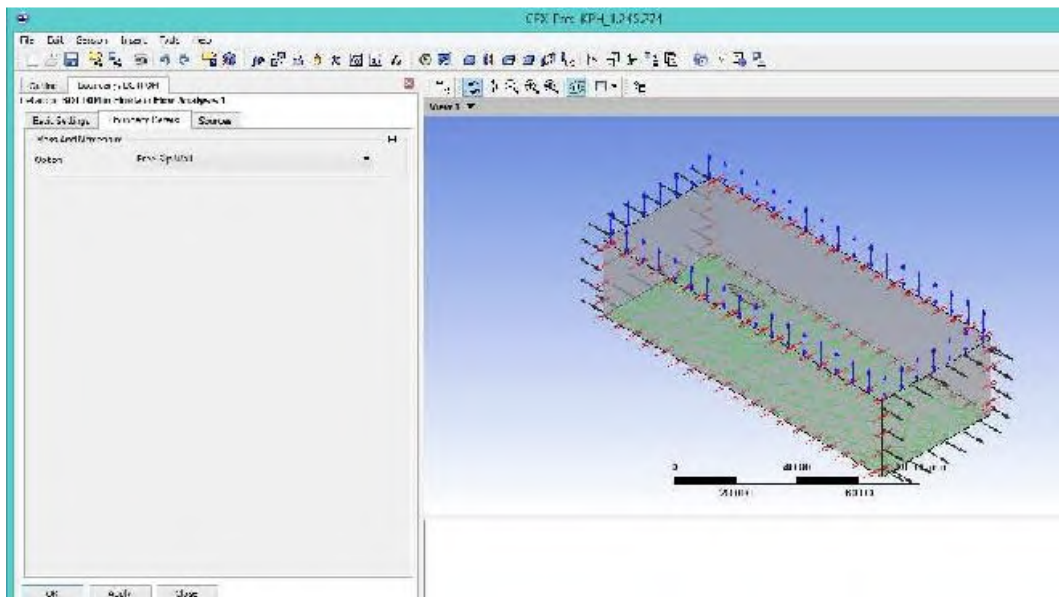


Gambar 4.33 Kondisi Batas *Top* Model Uji Kapal Cepat

#### 7. Kondisi batas *bottom*

Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan *free slip wall* (Gambar 4.34).





Gambar 4.34 Kondisi Batas *Bottom* Model Uji Kapal Cepat

8. Tahap selanjutnya adalah melakukan pendefinisian CEL (CFX Expression Language) dimana CEL ekspresi-ekspresi bahasa pemrograman terhadap boundary conditions dituliskan). Ekspresi-ekspresi untuk boundary dan initial conditions yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel 4.5:

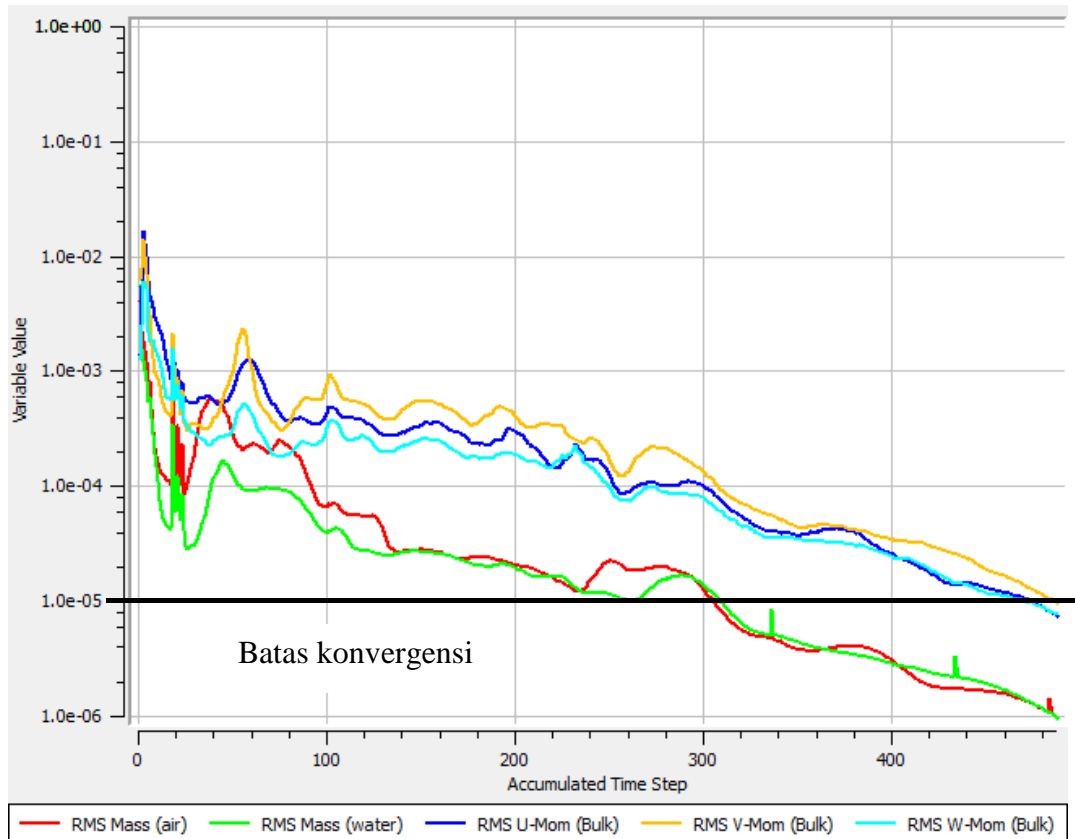
Tabel 4.5 Eskpresi-ekspresi pada CEL

Nama Bagian	CEL	Definisi
tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	15 [m]
tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	15 [m]
densitas air	DenWater	1025 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas udara	DenRef	1.185 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas air–densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)
fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	step((y-UpH)/1[m])
fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	1-UpVFAir
distribusi tekanan hulu	UpPres	DenH*g*UpVFWater* (UpH-y)

fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	step((y-DownH)/1[m])
fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	1-DownVFAir
distribusi tekanan hilir	DownPres	DenH*g*DownVFWater* (DownH-y)

#### b. Tahap *processor/solver*

Tahap *processor* atau yang dikenal dengan proses *solver* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan setelah proses *pre processor* dilakukan. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan accumulated time step sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan variable value (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai  $10^{-6}$  yang ditentukan pada saat tahap *pre-processor* ditentukan batas variable value adalah  $10^{-5}$  untuk pengujian model uji kapal cepat. Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver* control yang bertujuan meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap flow *solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah *grid* dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. Convergence criteria yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah  $10^{-5}$  (lihat Gambar 4.35). Yang artinya proses perhitungan atau *running* akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan seperti disebutkan pada gambar mencapai hasil dengan tingkat *error* sebesar  $10^{-5}$ .



Gambar 4.35 Grafik Hasil Proses *Running* Model Uji Kapal Cepat


### c. Tahap *post-processor*

Pada tahap final digunakan *software* ANSYS CFX-POST , program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa angka hasil pengukuran, gambar, kurva, dan animasi.

## 4.3 Pembuatan model kapal cepat *hydrofoil*

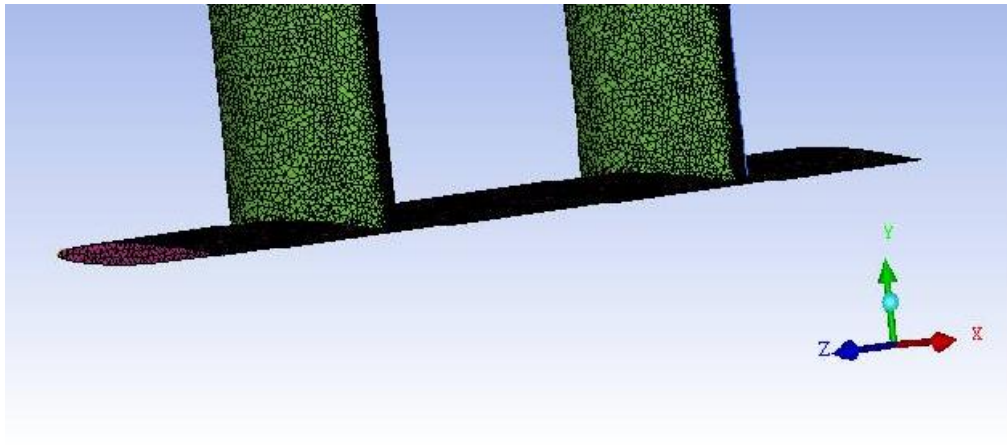
### 4.3.1 *Meshing* model uji kapal cepat *hydrofoil*

Setelah model 3D kapal cepat *hydrofoil* dibuat dengan menggabungkan lambung, *foil*, dan strut, tahap selanjutnya adalah proses *meshing* menggunakan *software* ICEM CFD dengan membagi geometri model ke dalam elemen-elemen kecil (segitiga, *tetra/mixed*, *hexa-dominant*) yang disebut cell. Gabungan dari cell-cell tersebut membentuk satu kesatuan yang disebut mesh atau *grid* karena gabungan dari elemen-elemen tersebut membentuk seperti jala. Setelah model 3D hasil

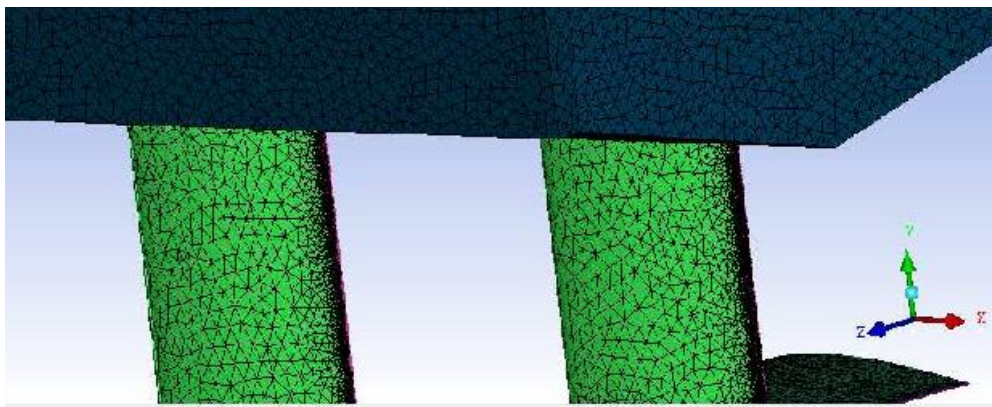
[illegible]

A 3D visualization of a beam element. The beam is represented by a dark, textured, rectangular prism. It is supported by four vertical, textured columns. A coordinate system is shown in the bottom right corner, with a green arrow pointing upwards (labeled 'y'), a red arrow pointing to the right (labeled 'x'), and a blue arrow pointing out of the page (labeled 'z').

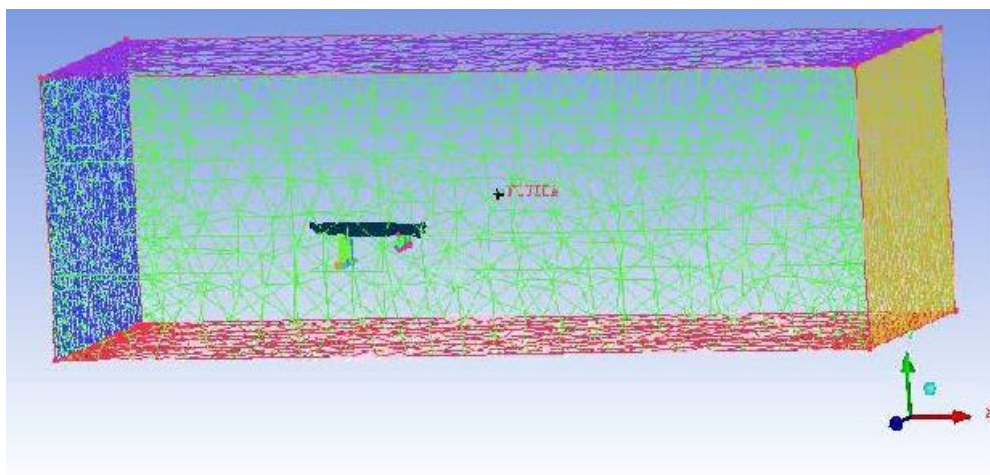
53



Gambar 4.38 Detail *Meshing* Bagian Strut dan *Foil* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*



Gambar 4.39 Detail *Meshing* Bagian Strut dan Lambung Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*



Gambar 4.40 Hasil *Meshing* Model Uji dan Boundary Layer

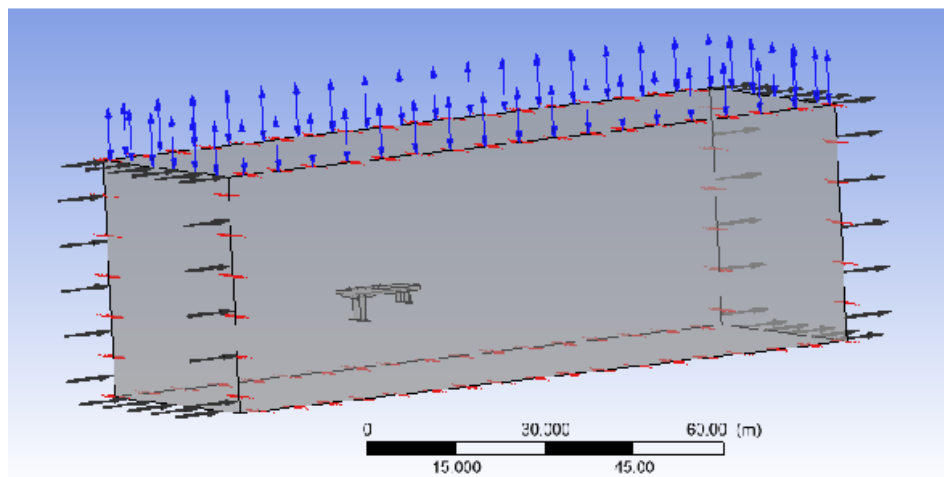
#### 4.3.2 Simulasi CFD model kapal cepat *hydrofoil*

Simulasi CFD yang dilakukan untuk mendapatkan *drag force* dan *lift force* model kapal cepat *hydrofoil* sebagai data model uji. Tahap pengujian dengan aplikasi CFD dilakukan dengan tiga tahapan, yaitu tahap *pre-processor*, *processor/solver*, dan tahap *post-processor*.

##### a. Tahap *pre-processor*

###### 1. Kondisi domain

Domain dapat didefinisikan sebagai tempat atau media dimana model uji bergerak (Gambar 4.41). Dalam hal ini media gerak model *hydrofoil* adalah air laut dengan density  $1025 \text{ kg/m}^3$  pada suhu  $25^\circ\text{C}$ . Digunakan model aliran turbulent sea state transport (SST) pada simulasi ini. Untuk komputasi dan simulasi, digunakan model turbulensi SST (Shear Stress Transport), (Menter, 1993 dan 1994). Model turbulensi SST telah divalidasi dalam sejumlah studi/riset (Bardina dkk. 1997; Swennberg, 2000) yang dianggap sebagai model yang paling akurat untuk berbagai aplikasi aliran. Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis ( $k-\omega$ ) pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis ( $k-\epsilon$ ) pada aliran massal. Namun pada pengujian ini model turbulensi  $k-\omega$  juga digunakan dalam menganalisa model uji kapal cepat *hydrofoil*.



Gambar 4.41 Kondisi Default Domain Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*



2. Kondisi *inlet*

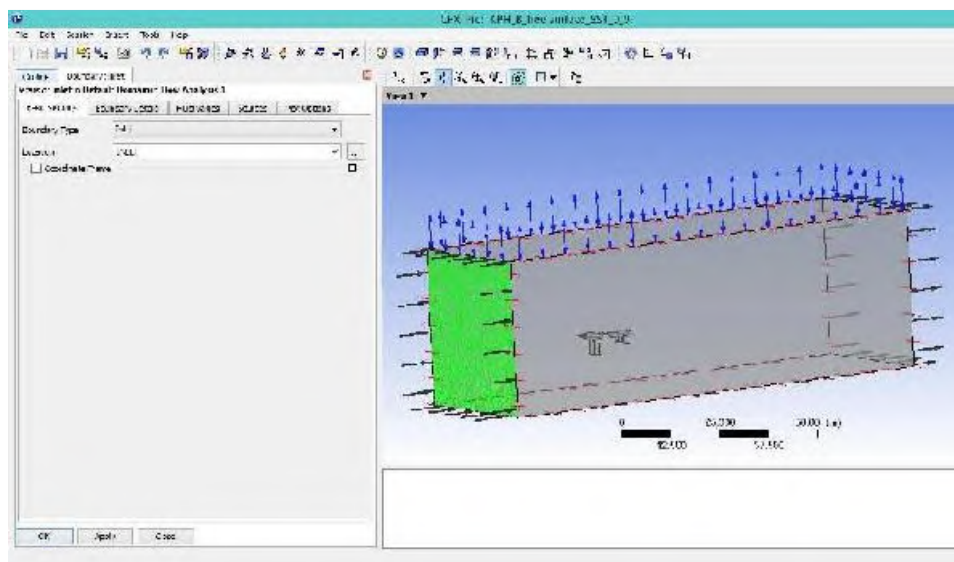
Pada bagian sisi dimana tempat aliran *fluida* masuk disebut *Inlet* (Gambar 4.42), pada sisi ini dicantumkan kecepatan dari aliran *fluida* yang disamakan dengan kecepatan gerak model kapal cepat *hydrofoil*. Pada simulasi ini *fluida* diasumsikan sebagai elemen yang bergerak sedangkan model *hydrofoil* pada posisi seolah-olah diam.

3. Kondisi *outlet*

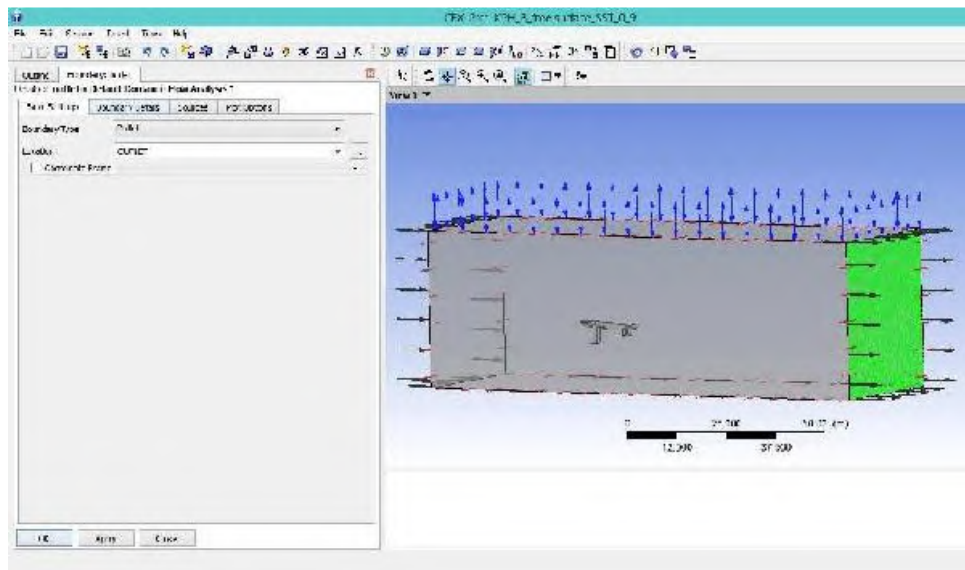
*Outlet* adalah bidang sisi keluarnya *fluida*. Pada daerah ini dilakukan pengaturan berupa “static pressure” (Gambar 4.43).

4. Kondisi kapal cepat *hidrodfoil* (objek simulasi)

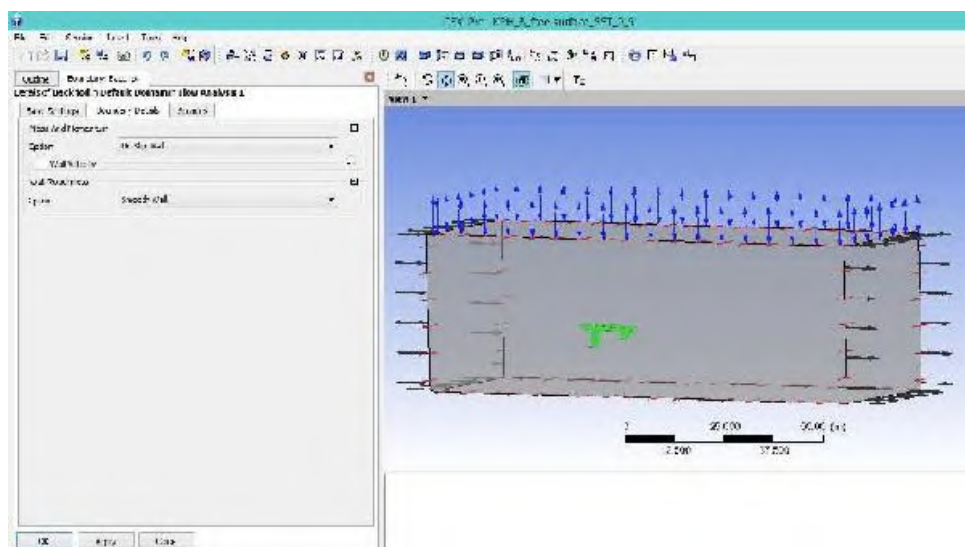
Kapal cepat *hydrofoil* adalah model uji yang disimulasikan. Pada bagian ini ini dilakukan pengaturan mass and momentum pada kondisi “no slip wall” dan wall roughness “smooth wall” (Gambar 4.44).



Gambar 4.42 Kondisi *Inlet* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*



Gambar 4.43 Kondisi *Outlet* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

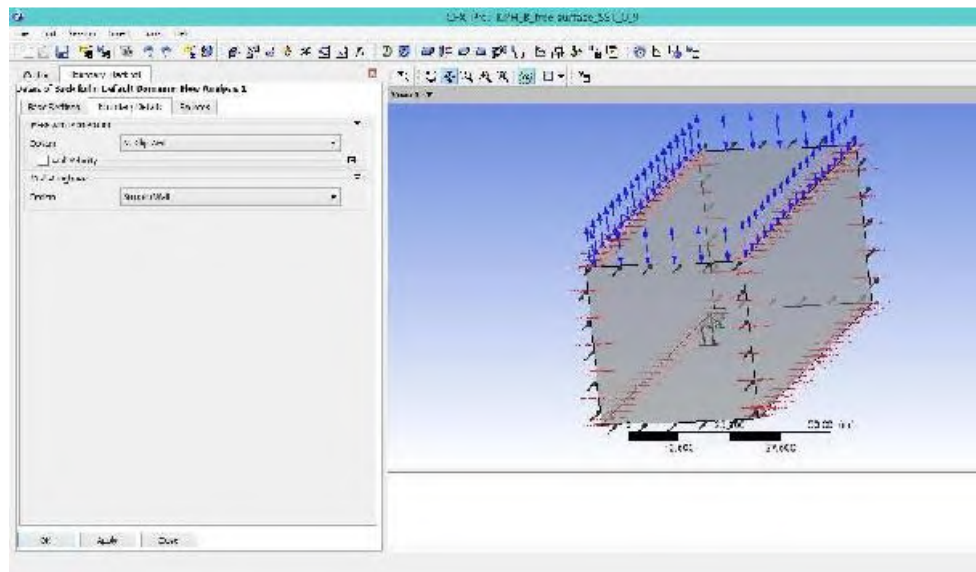


Gambar 4.44 Kondisi Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

##### 5. Kondisi batas *wall (side)*

Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi symmetry (Gambar 4.45). Yaitu suatu kondisi dimana tekanan yang ada di dalam boundary sama dengan tekanan yang ada di luar boundary.

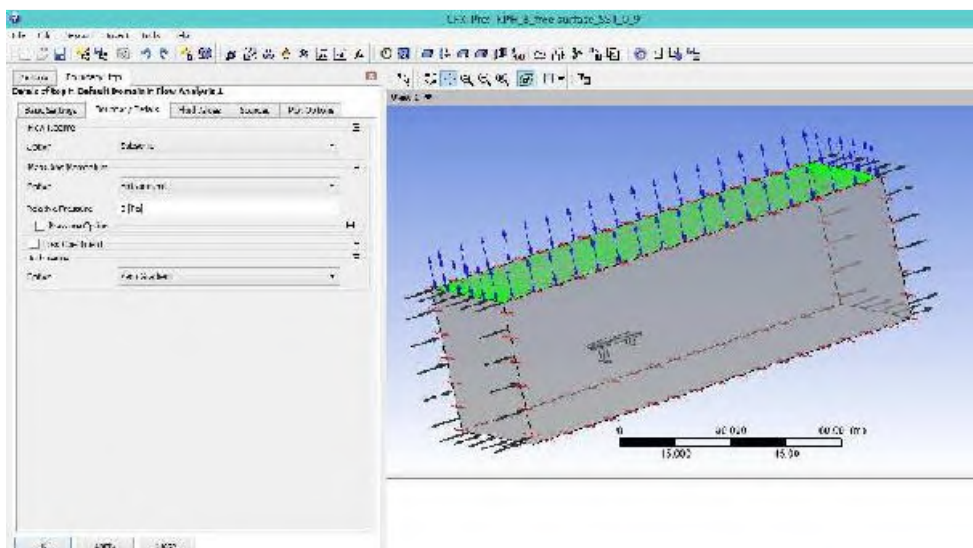




Gambar 4.45 Kondisi *Wall (Side)* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

#### 6. Kondisi batas *top*

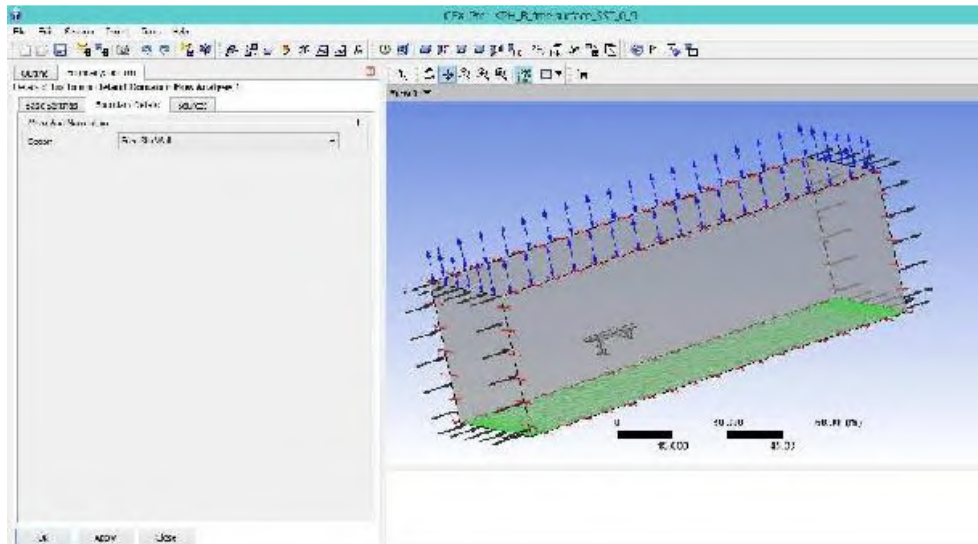
Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan *free slip wall* (Gambar 4.46).



Gambar 4.46 Kondisi Batas *Top* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

7. Kondisi batas *bottom*

Dinding *fluida* dianggap berada pada kondisi tanpa gesekan dan tanpa gaya gesek sehingga boundary detail diisikan *free slip wall* (Gambar 4.47).



Gambar 4.47 Kondisi Batas *Bottom* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

8. Tahap selanjutnya adalah melakukan pendefinisian CEL (CFX Expression Language) dimana CEL ekspresi-ekspresi bahasa pemrograman terhadap boundary conditions dituliskan. Ekspresi-ekspresi untuk boundary dan initial conditions yang didefinisikan pada CEL dapat dilihat pada Tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6 Ekspresi-ekspresi pada CEL

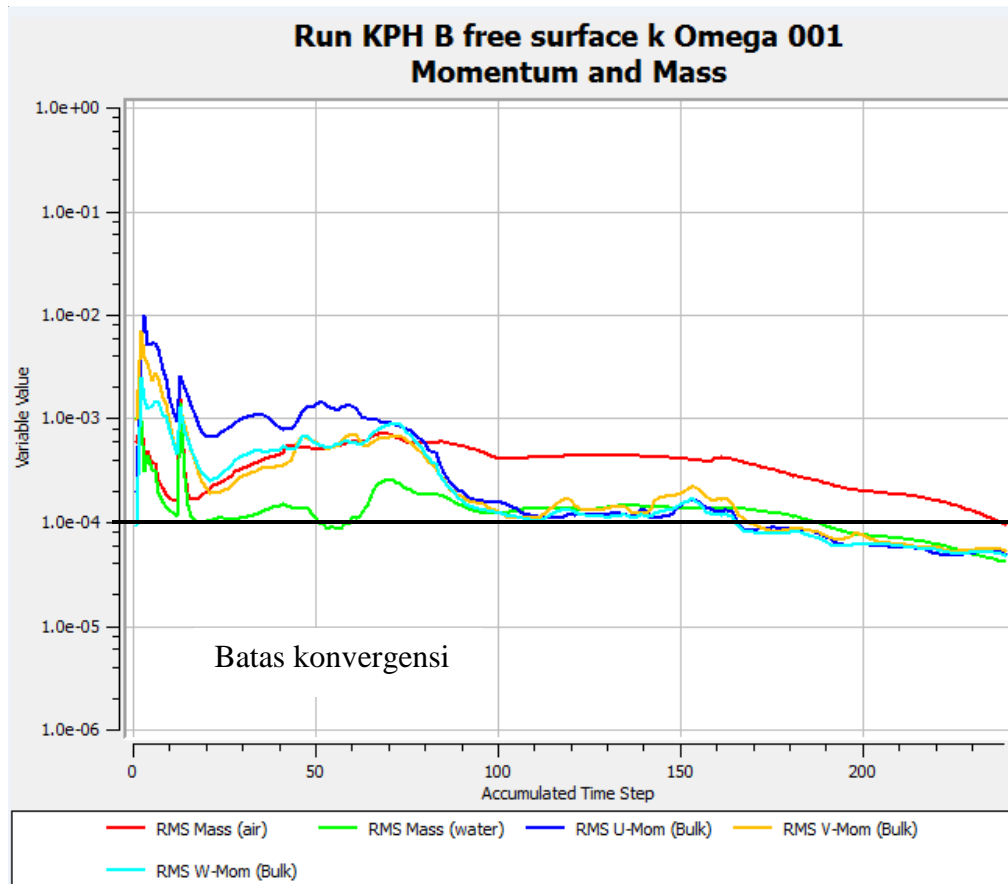
Nama Bagian	CEL	Definisi
tinggi hulu <i>free surface</i>	UpH	15 [m]
tinggi hilir <i>free surface</i>	DownH	15 [m]
densitas air	DenWater	1025 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas udara	DenRef	1.185 [kg m <sup>-3</sup> ]
densitas air–densitas udara	DenH	(DenWater - DenRef)

fraksi volume udara (hulu)	UpVFAir	$\text{step}((y-\text{UpH})/1[\text{m}])$
fraksi volume air (hulu)	UpVFWater	$1-\text{UpVFAir}$
distribusi tekanan hulu	UpPres	$\text{DenH} * g * \text{UpVFWater} * (\text{UpH}-y)$
fraksi volume udara (hilir)	DownVFAir	$\text{step}((y-\text{DownH})/1[\text{m}])$
fraksi volume air (hilir)	DownVFWater	$1-\text{DownVFAir}$
distribusi tekanan hilir	DownPres	$\text{DenH} * g * \text{DownVFWater} * (\text{DownH}-y)$

#### **b. Tahap *processor/solver***

Tahap *processor* atau yang dikenal dengan proses *solver* merupakan tahap perhitungan yang dilakukan setelah proses *pre processor* dilakukan. Proses *running* ini digambarkan dengan sebuah grafik, dengan sumbu x menunjukkan accumulated time step sesuai dengan nilai iterasi yang kita masukkan dan sumbu y menunjukkan variable value (nilai konvergensi) dengan nilai 1 sampai  $10^{-6}$  yang ditentukan pada saat tahap *pre-processor* ditentukan batas variable value adalah  $10^{-4}$  untuk pengujian model uji kapal cepat *hydrofoil*. Konvergensi merupakan pengaturan persamaan *solver* control yang bertujuan meminimalisir *error* pada hasil simulasi. Proses perhitungan atau disebut sebagai proses iterasi pada tahap flow *solver* dilakukan jika semua data kondisi batas telah ditentukan. Proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang dapat diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian dari model yang telah dibuat. Semakin banyak jumlah *grid* dalam pemodelan maka semakin banyak pula iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi akan berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang telah ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau didapatkan nilai yang konvergen. Convergence criteria yang digunakan dalam proses iterasi menggunakan Ansys CFX adalah  $10^{-4}$  (lihat Gambar 4.48). Yang artinya proses perhitungan atau *running*

akan terus beriterasi agar ke empat grafik persamaan seperti disebutkan pada gambar mencapai hasil dengan tingkat *error* sebesar  $10^{-4}$ .



Gambar 4.48 Grafik Hasil Proses *Running* Model Uji Kapal Cepat *Hydrofoil*

### c. Tahap *post-processor*

Pada tahap final digunakan *software* ANSYS CFX-POST , program ini sebagai langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa angka hasil pengukuran, gambar, kurva, dan animasi.

#### 4. 4 Model turbulensi

*Two-equation models* memecahkan dua persamaan tambahan untuk *eddy viscosity*, satu untuk energi kinetik turbulensi ( $k$ ) dan satunya untuk *dissipation rate* (typically  $\varepsilon$  or  $\omega$ ). Selain dua model turbulensi di atas, masih banyak model turbulensi lainnya yang terus dikembangkan, dicoba dan diaplikasikan, tetapi belum ada model turbulensi yang bersifat universal untuk semua yang di uji. Sehingga perlu menentukan model turbulensi yang terbaik untuk spesifik model yang kita uji (ITTC,2011).

Pada penelitian ini, untuk pengujian kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *free surface*, penulis memilih model turbulensi  $k-\omega$  karena model turbulensi ini memberi prediksi yang akurat pada simulasi *ship hydrodynamics* dan paling banyak diaplikasikan pada submission di *Gothenburg 2010 workshop* (80%) (ITTC,2011). Keuntungan  $k-\omega$  dibandingkan dengan  $k-\varepsilon$  model adalah penerapannya di seluruh lapisan batas tanpa penyesuaian lebih lanjut. Namun sensitivitas yang tinggi terhadap kondisi batas *inlet* internal flows juga menjadi kekurangan dari model turbulensi ini (Mordhorst, 2011). Tetapi F.R. Menter memperkenalkan model turbulensi  $k-\omega$  SST ( $k-\omega$  SST models) untuk menutupi/mengatasi kelemahan ini (Menter, 1993 dan 1994, *as cited* in Mordhorst, 2011). Model turbulensi ini menghybrid menggunakan  $k-\omega$  dekat dengan dinding dan  $k-\varepsilon$  di aliran turbulen. Model  $k-\omega$  SST terutama digunakan dalam perhitungan aerodinamis dan memiliki performa keseluruhan yang bagus bahkan untuk arus kompleks dibandingkan dengan dua model persamaan lainnya (Bardina dkk., 1997, *as cited* in Mordhorst, 2011). Model turbulen ini memecahkan turbulensi berbasis ( $k-\omega$ ) pada dinding-dinding dan turbulensi berbasis ( $k-\varepsilon$ ) pada aliran massal (Swennberg, 2000, *as cited* in Jamaluddin, 2012).

## 4.5 Validasi

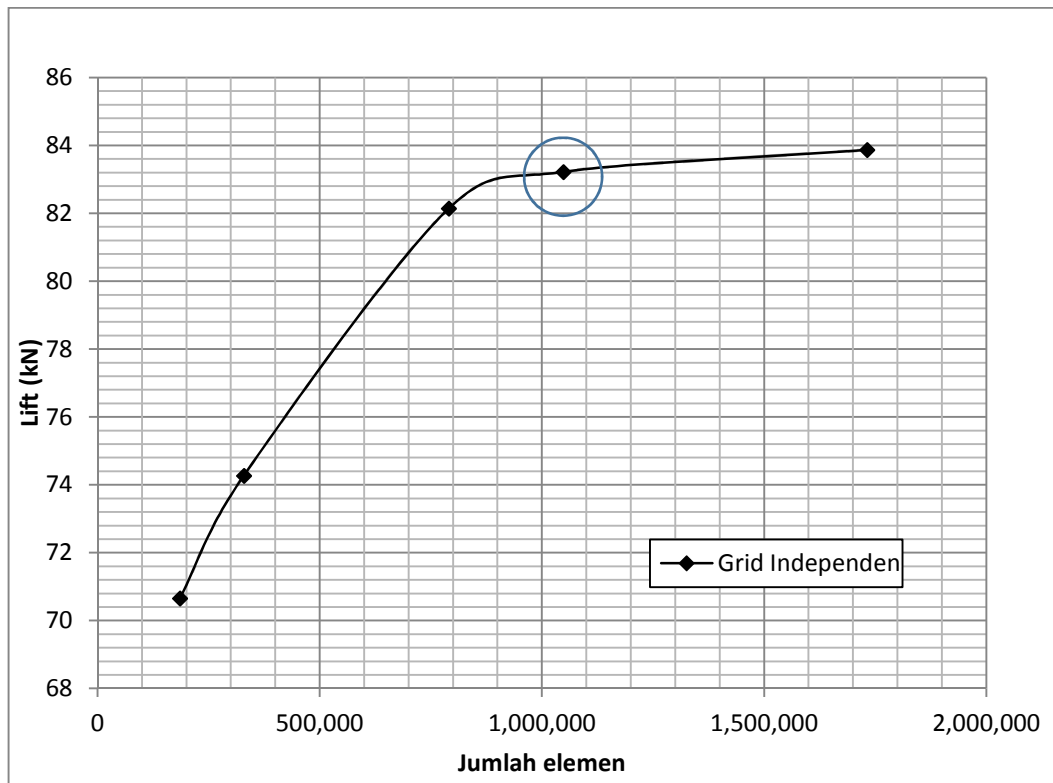
### 4.5.1 *Grid Independence*

Salah satu metode yang digunakan untuk membuktikan keakuratan hasil simulasi adalah dengan menggunakan *Grid Independence*. Hasil yang ditampilkan oleh CFD sangat bergantung pada ukuran *meshing* dari model. Semakin kecil ukuran mesh maka jumlah elemen model yang terbentuk semakin banyak. Jumlah elemen yang besar akan memberikan hasil yang lebih mendekati nilai sebenarnya. Namun tidak selamanya jumlah elemen yang banyak menjamin optimalisasi simulasi. Proses simulasi dapat dinilai optimal tidak hanya karena hasil yang akurat, melainkan juga waktu yang digunakan dapat dibatasi. Penggunaan waktu yang minimum dapat diatur melalui pemilihan jumlah elemen. Proses *running* akan semakin singkat apabila jumlah elemen sangat sedikit. *Grid Independence* diperoleh dengan melakukan beberapa kali simulasi. Hasil optimum yang dimaksudkan adalah ketika ada beberapa parameter yang menjadi pertimbangan batasan, dalam kasus ini adalah kecepatan komputasi dan kerasionalan hasil. Artinya jumlah elemen tertentu harus menghasilkan hasil yang masuk akal dengan waktu komputasi yang relatif minimum.

*Grid Independence* yang telah dilakukan pada model uji *hydrofoil* ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.49. Sedangkan *Grid Independence* pada model uji kapal cepat ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.50.

Tabel 4.7 *Grid Independence Model Hydrofoil*

Jumlah Elemen		Lift (N)		Selisih Lift
Mesh ke-1 185.13	Mesh ke-2 329.22	Mesh ke-1 70651.40	Mesh ke-2 74269.60	5.12%
Mesh ke-2 329.22	Mesh ke-3 790.22	Mesh ke-2 74269.60	Mesh ke-3 82137.800	10.59%
Mesh ke-3 790.22	Mesh ke-4 1074984,00	Mesh ke-3 82137.80	Mesh ke-4 83220.50	1.32%
Mesh ke-4 1074984,00	Mesh ke-5 1731222,00	Mesh ke-4 83220.50	Mesh ke-5 83866.40	0.78%

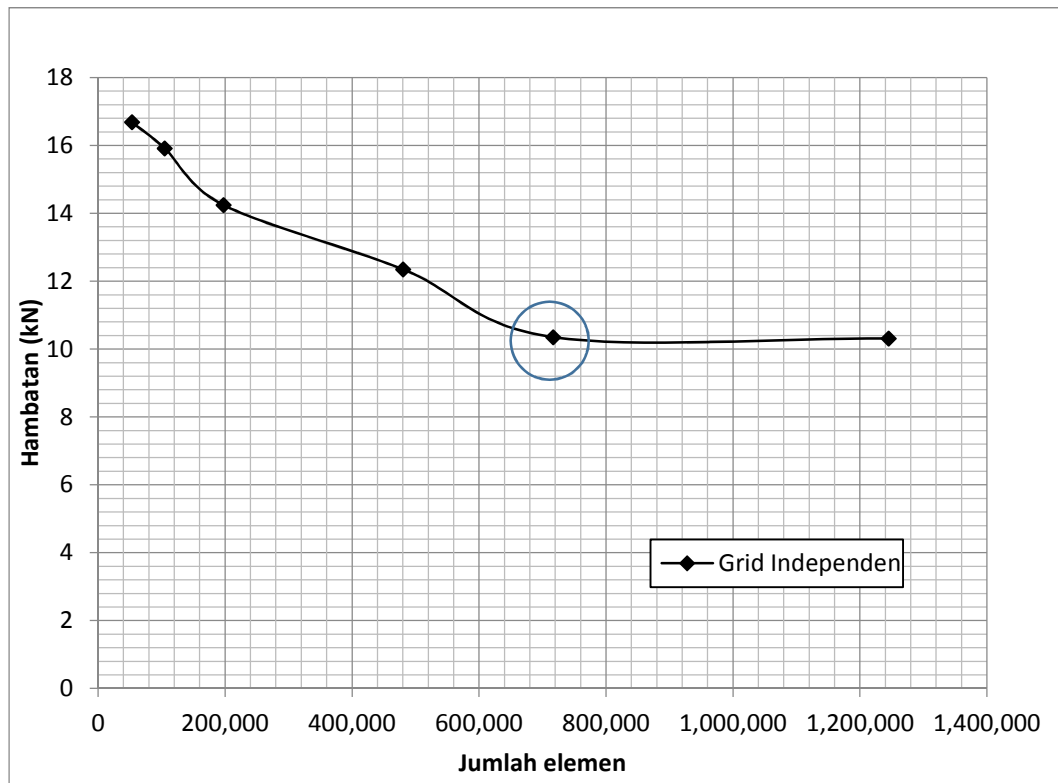


Gambar 4.49 *Grid Independence Model Hydrofoil*

Penentuan jumlah *meshing* yang digunakan pada model uji *hydrofoil* adalah sebesar 1,074,984. Sedangkan pada model uji kapal cepat, *meshing* yang digunakan adalah sebesar 716,604.

Tabel 4.8 *Grid Independence Model Uji Kapal Cepat*

Jumlah Elemen		Drag (N)		Selisih Drag
Mesh ke-1	Mesh ke-2	Mesh ke-1	Mesh ke-2	
53227,00	104649,00	16685.10	15918.40	-4.60%
Mesh ke-2	Mesh ke-3	Mesh ke-2	Mesh ke-3	
104649,00	197763,00	15918.40	14243.20	-10.52%
Mesh ke-3	Mesh ke-4	Mesh ke-3	Mesh ke-4	
197763,00	480584,00	14243.20	12348.10	-13.31%
Mesh ke-4	Mesh ke-5	Mesh ke-4	Mesh ke-5	
480584,00	716604,00	12348.10	10450.90	-16.17%
Mesh ke-5	Mesh ke-6	Mesh ke-5	Mesh ke-6	
716604,00	1245274,00	10350.90	10310.40	-0.39%



Gambar 4.50 *Grid Independence* Model Uji Kapal Cepat

#### 4.5.2 Validasi data

Proses validasi data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian kapal cepat di towing tank (Saputro dan Suastika, 2012) pada Tabel 4.9 dengan hasil pengujian dengan analisa CFD *Software*. Data yang di bandingkan adalah besar tahanan total ( $R_t$ ) dari kapal pada kecepatan 10.5 Knot karena pada kondisi tersebut kapal masih dalam kondisi full displacement.

Tabel 4.9 Hasil Uji Tarik Towing Tank Kapal Cepat

Run ke:	V (knot)	RT (KN)	Power (EHP)
1	4,95	1,03	3,58
2	10,50	10,95	80,46
3	16,50	20,24	233,63
4	21,79	21,25	323,89
5	24,40	21,63	369,28

(Sumber : Saputro dan Suastika, 2012)



Pada hasil pengujian *towing tank*, nilai hambatan total ( $R_t$ ) pada kecepatan 10.5 knot sebesar 10.95 KN. Dan pada pengujian CFD, nilai hambatan total ( $R_t$ ) pada kecepatan 10.5 knot sebesar 10,35 KN. Sehingga selisih antara pengujian CFD dan Uji tarik di *towing tank* sebesar (-5.50)% (Tabel 4.10).

Tabel 4.10 Perbandingan Hasil Uji Tarik dan CFD

<b>Hambatan Total (KN)</b>		<b>Selisih</b>
<b>Uji Tarik</b>	<b>CFD</b>	
10,95	10,35	-5,50%

## BAB 5

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil

##### 5.1.1 Hasil pengujian model *foil*

Berdasarkan data hasil perhitungan pada Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4, ditentukan ukuran *foil* yang akan digunakan memiliki *aspect ratio* (AR) 4 – 10 dengan variasi ukuran *span* 4 meter dan 5 meter. Dimensi *foil* yang memenuhi AR 4 – 10 terdiri dari empat (4) variasi dengan ukuran *span* 4 meter dan tujuh (7) variasi dengan *span* 5 meter.

Tabel 5.1 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 4 m ; *Chord* = 0,91 m ; AR = 4,40)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	2644.40	40948.50	0.016	0.248	15.48
3	3197.05	53964.90	0.019	0.326	16.88
3.5	3499.49	60220.50	0.021	0.364	17.21
4	3913.91	67188.30	0.024	0.406	17.17
5	4754.57	79015.00	0.029	0.478	16.62

*Foil* dengan *span* 4 meter, *Chord* 0,91 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 4,40 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 15,48, sudut  $3^0$  sebesar 16,88, sudut  $3,5^0$  sebesar 17,21, sudut  $4^0$  sebesar 17,17, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,62.

Tabel 5.2 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 4 m ; *Chord* = 0,65 m ; AR = 6,13)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	1927.46	32880.40	0.016	0.277	17.06
3	2337.76	44179.40	0.020	0.373	18.90
3.5	2571.74	49516.20	0.022	0.418	19.25
4	2827.75	54187.90	0.024	0.457	19.16
5	3413.41	63859.90	0.029	0.539	18.71

*Foil* dengan *span* 4 meter, *Chord* 0,65 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 6,13 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.2 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 17,06, sudut  $3^0$  sebesar 18,90, sudut  $3,5^0$  sebesar 19,25, sudut  $4^0$  sebesar 19,16, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 18,71.

Tabel 5.3 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 4 m ; *Chord* = 0,51 m ; AR = 7,83)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	1774.81	28235.40	0.019	0.305	15.91
3	2061.15	36394.40	0.022	0.393	17.66
3.5	2246.04	40523.20	0.024	0.437	18.04
4	2217.07	44202.20	0.024	0.477	19.94
5	3092.10	52302.20	0.033	0.565	16.92

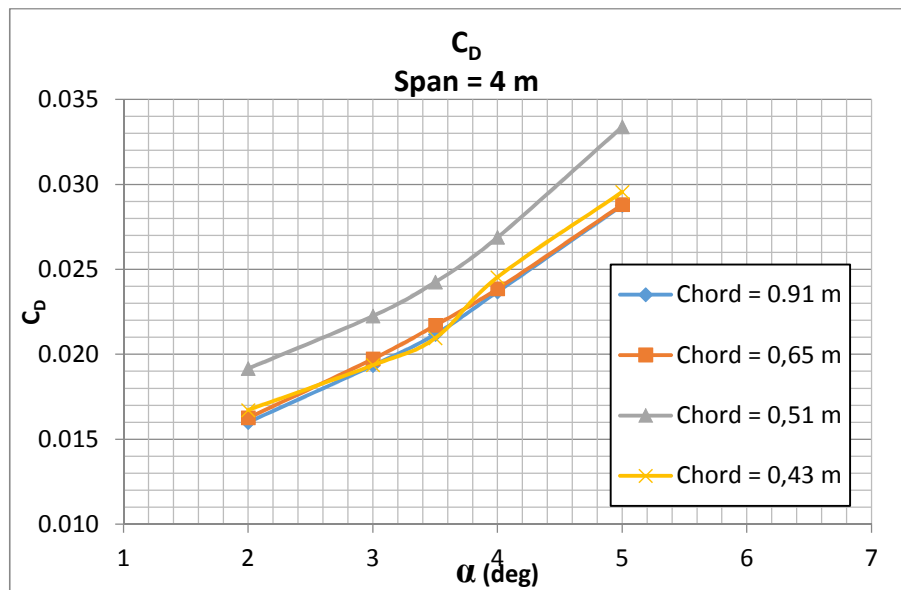
*Foil* dengan *span* 4 meter, *Chord* 0,51 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 7,83 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.3 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 15,91, sudut  $3^0$  sebesar 17,66, sudut  $3,5^0$  sebesar 18,04, sudut  $4^0$  sebesar 19,94, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,92.

*Foil* dengan *span* 4 meter, *Chord* 0,43 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 9,39 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.4 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 18,82, sudut  $3^0$  sebesar 21,36, sudut  $3,5^0$  sebesar 22,12, sudut  $4^0$  sebesar 20,51, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 20,21.

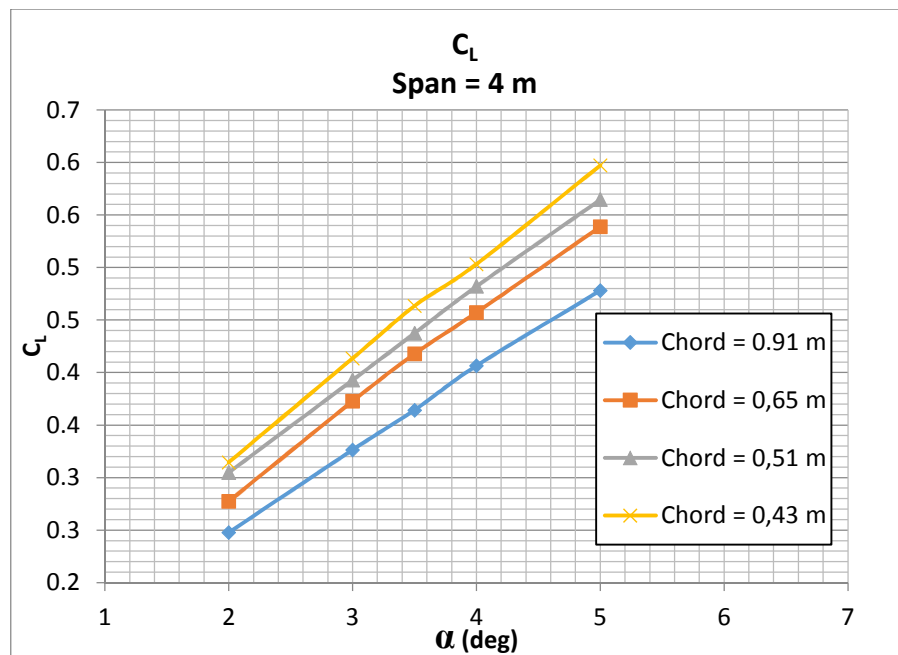
Tabel 5.4 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 4 m ; *Chord* = 0,43 m ; AR = 9,39)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	1290.65	24283.80	0.017	0.315	18.82
3	1494.50	31926.60	0.019	0.414	21.36
3.5	1617.03	35773.70	0.021	0.463	22.12
4	1894.09	38848.30	0.025	0.503	20.51
5	2281.61	46106.10	0.030	0.597	20.21

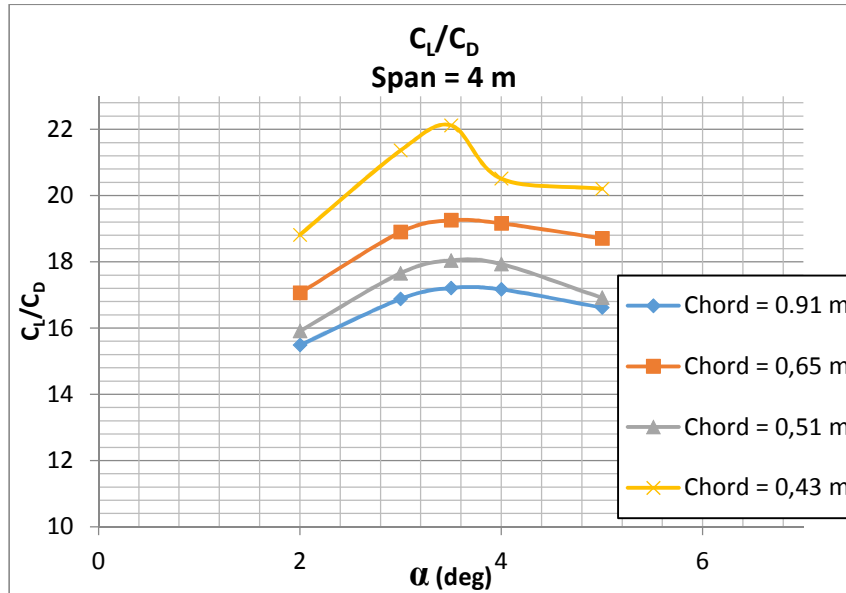
Perbandingan nilai *lift*, *drag*, serta rasio *lift* dan *drag* dari model *foil span* 4 meter dengan *aspect ratio* (AR) 4-10 yang diuji dengan *CFD Software* ditunjukkan pada Gambar 5.1, 5.2, dan 5.3 dimana Nilai rasio *lift* dan *drag* tertinggi pada *foil* dengan *span* 4 meter diperoleh dari model *foil* dengan panjang *chord* 0,43 m dan *aspect ratio* (AR) 9,39.



Gambar 5.1 Nilai Coefficient Drag ( $C_D$ ) Foil Span = 4 m



Gambar 5.2 Nilai Coefficient Lift ( $C_L$ ) Foil Span = 4 m



Gambar 5.3 Nilai Rasio  $C_L/C_D$  Foil  $Span = 4$  m

Foil dengan  $span$  5 meter,  $Chord$  1,14 meter, dengan  $aspect\ ratio$  (AR) 4,40 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.5 menghasilkan rasio  $lift$  dan  $drag$  pada sudut  $2^0$  sebesar 16,41, sudut  $3^0$  sebesar 18,66, sudut  $3,5^0$  sebesar 19,09, sudut  $4^0$  sebesar 19,05, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 18,14.

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Foil ( $Span = 5$  m ;  $Chord = 1,14$  m ; AR = 4,40)

Sudut (deg)	$Drag(N)$	$Lift$ (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3207.85	52639.10	0.012	0.204	16.41
3	3921.59	73158.40	0.015	0.283	18.66
3.5	4359.19	83220.50	0.017	0.322	19.09
4	4909.69	93534.40	0.019	0.362	19.05
5	6253.84	113425.00	0.024	0.439	18.14

Foil dengan  $span$  5 meter,  $Chord$  0,82 meter, dengan  $aspect\ ratio$  (AR) 6,13 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.6 menghasilkan rasio  $lift$  dan  $drag$  pada sudut  $2^0$  sebesar

17,17, sudut  $3^0$  sebesar 18,66, sudut  $3,5^0$  sebesar 18,94, sudut  $4^0$  sebesar 18,54, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 18,41.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 0,82 m ; AR = 6,13)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3311.29	56850.00	0.018	0.307	17.17
3	3898.01	72735.10	0.021	0.393	18.66
3.5	4307.72	81606.30	0.023	0.440	18.94
4	4818.64	89329.30	0.026	0.482	18.54
5	5704.42	105019.00	0.031	0.567	18.41

*Foil* dengan *span* 5 meter, *Chord* 0,64 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 7,83 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.7 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 16,97, sudut  $3^0$  sebesar 17,58, sudut  $3,5^0$  sebesar 17,77, sudut  $4^0$  sebesar 17,77, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,82.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 0,64 m; AR = 7,83)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3610.49	61279.90	0.025	0.423	16.97
3	4134.03	72662.80	0.029	0.502	17.58
3.5	4461.23	79278.30	0.031	0.547	17.77
4	4733.26	84094.80	0.033	0.581	17.77
5	5789.30	97359.80	0.040	0.672	16.82

Tabel 5.8 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 0,53 m; AR = 9,39)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	4147.81	66791.40	0.034	0.553	16.10
3	4750.96	78159.00	0.039	0.647	16.45
3.5	5072.29	84025.20	0.042	0.696	16.57
4	5392.75	88399.70	0.045	0.732	16.39
5	6103.47	98373.00	0.051	0.814	16.12

*Foil* dengan *span* 5 meter, *Chord* 0,53 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 9,39 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.8 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 16,10, sudut  $3^0$  sebesar 16,45, sudut  $3,5^0$  sebesar 16,57, sudut  $4^0$  sebesar 16,39, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,12.

Tabel 5.9 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 1,21 m; AR = 4,14)

Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3401.80	52501.90	0.012	0.192	15.43
3	4173.40	74172.00	0.015	0.271	17.77
3.5	4564.81	82684.60	0.017	0.302	18.11
4	5260.84	95914.40	0.019	0.350	18.23
5	6570.77	115339.00	0.024	0.421	17.55

*Foil* dengan *span* 5 meter, *Chord* 1,21 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 4,14 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.9 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 15,43, sudut  $3^0$  sebesar 17,77, sudut  $3,5^0$  sebesar 18,11, sudut  $4^0$  sebesar 18,23, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 17,55.

*Foil* dengan *span* 5 meter, *Chord* 0,73 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 6,87 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.10 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 16,80, sudut  $3^0$  sebesar 17,86, sudut  $3,5^0$  sebesar 18,01, sudut  $4^0$  sebesar 17,09, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,66.

Tabel 5.10 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 0,73 m; AR = 6,87)

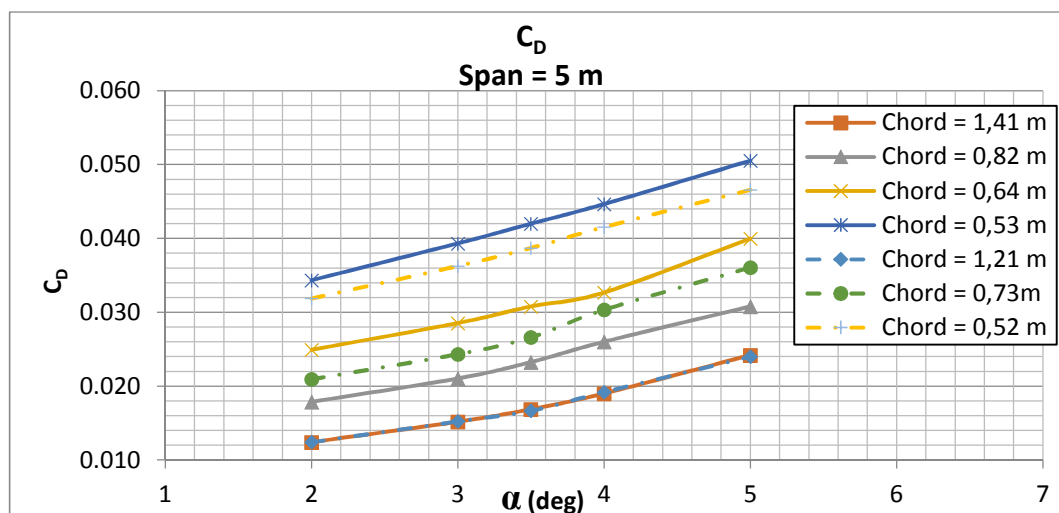
Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3461.94	58149.70	0.021	0.352	16.80
3	4023.29	71873.40	0.024	0.435	17.86
3.5	4402.05	79283.20	0.027	0.480	18.01
4	5016.84	85761.80	0.030	0.519	17.09
5	5964.71	99363.20	0.036	0.601	16.66

*Foil* dengan *span* 5 meter, *Chord* 0,52 meter, dengan *aspect ratio* (AR) 9,57 yang dianalisa dengan CFD pada variasi sudut serang  $2^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ , dan  $5^0$  yang ditunjukkan pada Tabel 5.11 menghasilkan rasio *lift* dan *drag* pada sudut  $2^0$  sebesar 15,99, sudut  $3^0$  sebesar 16,50, sudut  $3,5^0$  sebesar 16,62, sudut  $4^0$  sebesar 16,70, dan pada sudut  $5^0$  sebesar 16,66.

Tabel 5.11 Hasil Perhitungan *Foil* (*Span* = 5 m ; *Chord* = 0,52 m; AR = 9,57)

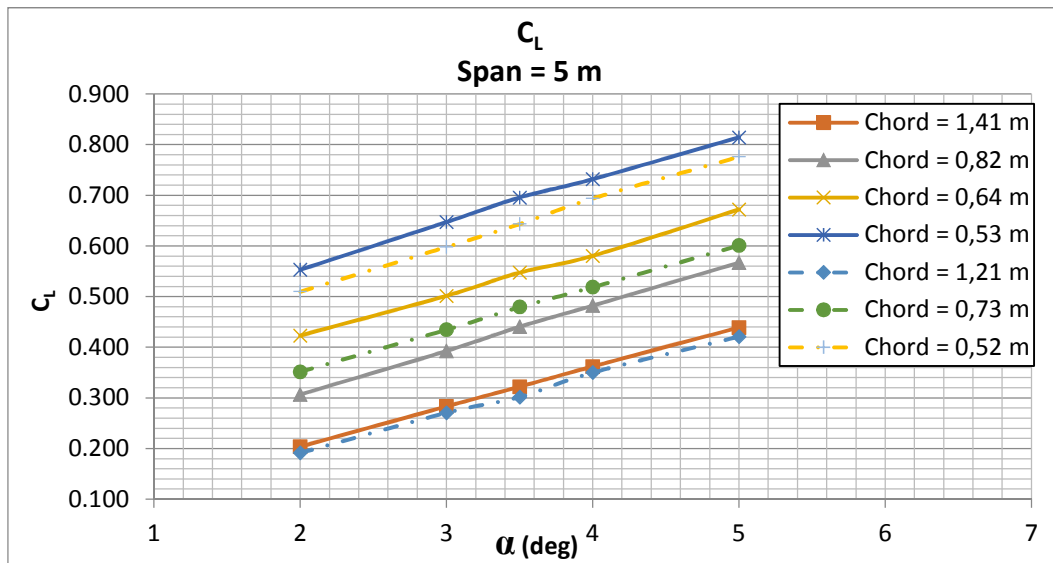
Sudut (deg)	<i>Drag</i> (N)	<i>Lift</i> (N)	$C_D$	$C_L$	$C_L/C_D$
2	3779.42	60451.10	0.032	0.510	15.99
3	4300.39	70909.90	0.036	0.598	16.50
3.5	4589.62	76266.50	0.039	0.643	16.62
4	4925.51	82258.70	0.042	0.694	16.70
5	5523.16	92010.90	0.047	0.776	16.66

Perbandingan nilai *lift*, *drag*, serta rasio *lift* dan *drag* dari model *foil* *span* 5 meter dengan *aspect ratio* (AR) 4-10 yang diuji dengan CFD Software ditunjukkan pada Gambar 5.4, 5.5, dan 5.6 dimana Nilai rasio *lift* dan *drag* tertinggi pada *foil* dengan *span* 5 meter diperoleh dari model *foil* dengan panjang *chord* 1,14 m dan *aspect ratio* (AR) 4,40.

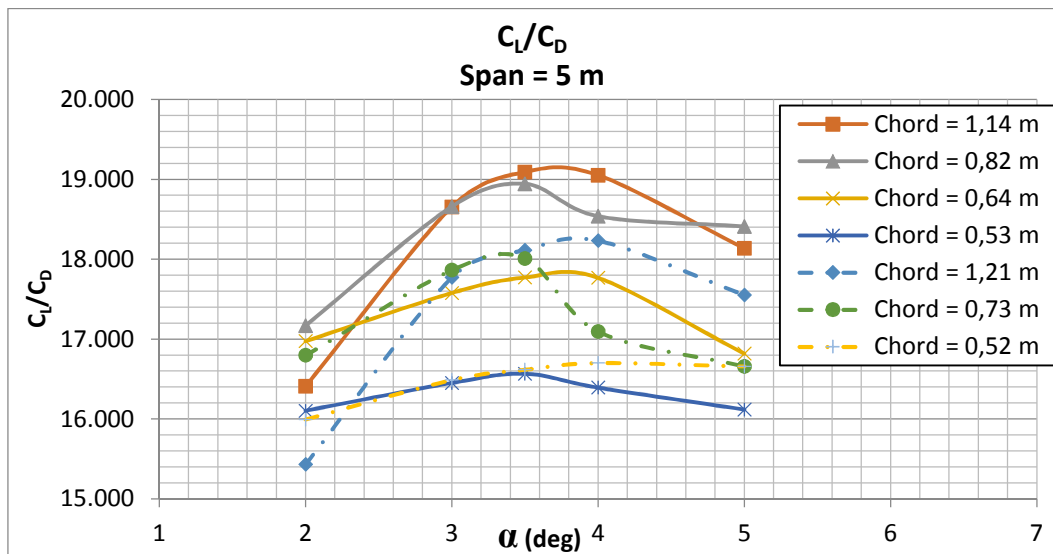


Gambar 5.4 Nilai Coefficient *Drag* ( $C_D$ ) *Foil* *Span* = 5 m





Gambar 5.5 Nilai Coefficient Lift ( $C_L$ ) Foil Span = 5 m



Gambar 5.6 Nilai Rasio  $C_L/C_D$  Foil Span = 5 m

Berdasarkan data hasil pengujian dengan CFD Software pada foil span 4 meter dan 5 meter, maka pemilihan ukuran foil yang akan di pasang pada kapal hydrofoil cepat adalah Foil dengan nilai aspect ratio (AR) = 4,40, Chord = 1,14, Span = 5 meter.

### 5.1.2 Hasil pengujian model kapal cepat *hydrofoil*

Pada pengujian ini, *foil* depan diletakkan pada posisi jarak *foil* dari sarat ( $h$ ) = 4,46 meter. Sedangkan *foil* belakang divariasikan pada jarak ( $h$ ) :

1. Model A, jarak ( $h$ ) = 4,46 meter
2. Model B, jarak ( $h$ ) = 2,23 meter
3. Model C, jarak ( $h$ ) = 6,69 meter

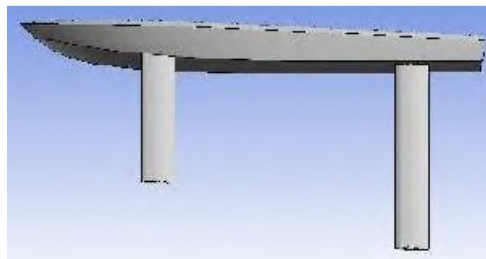
Visualisasi posisi perletakan *hydrofoil* depan dan belakang pada kapal cepat *hydrofoil* ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Model A



Model B



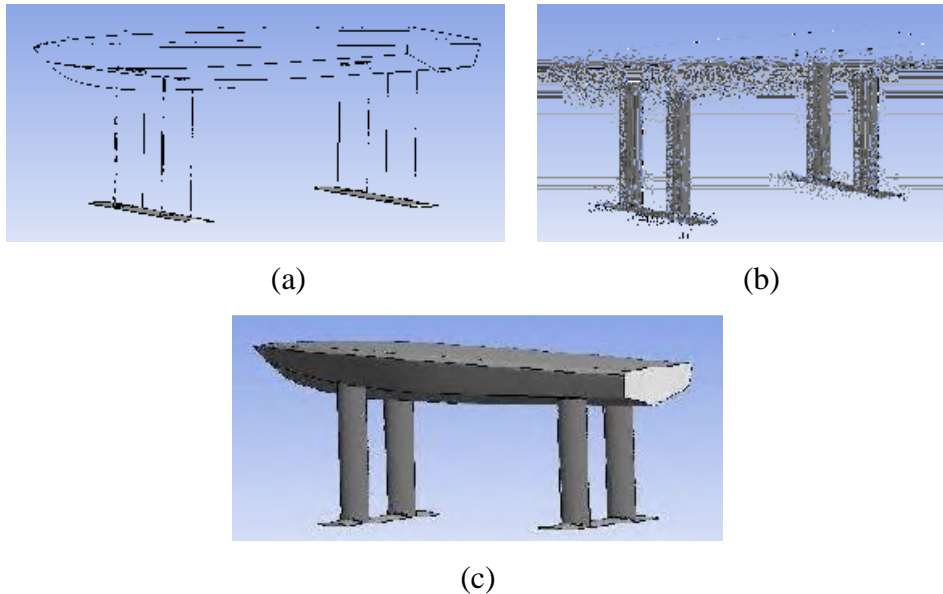
Model C

Gambar 5.7. Variasi Model Perletakan *Foil* Belakang Kapal Cepat *Hydrofoil*

Hasil pengujian yang diperoleh disajikan dalam tiga (3) bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8:

1. Hasil pengujian dengan hanya menganalisa nilai *Lift*, *Drag*, dan *Lift/Drag foil* sebagai dampak perletakan *foil* terhadap sarat kapal secara *vertikal* (Gambar 5.8.a).
2. Hasil pengujian dengan menganalisa nilai *Lift*, *Drag*, dan *Lift/Drag foil* dan strut sebagai dampak perletakan *foil* terhadap sarat kapal secara *vertikal* (Gambar 5.8.b).

3. Hasil pengujian dengan menganalisa nilai *Lift*, *Drag*, dan *Lift/Drag* seluruh bagian kapal cepat *hydrofoil* (*foil*, *strut*, dan lambung kapal) sebagai dampak perletakan *foil* terhadap sarat kapal secara *vertikal* (Gambar 5.8.c).



Gambar 5.8 Tiga Variasi Penyajian Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil*

#### 5.1.2.1 Hasil pengujian bagian *foil*

Pada pengujian ini, bagian yang dianalisa hanya bagian *foil* tanpa strut dan lambung kapal pada model uji kapal cepat *hydrofoil* seperti pada Gambar 5.6 (a). Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai *lift* dan *drag* dari *foil* depan dan *foil* belakang pada kapal cepat *hydrofoil*. Sehingga diperoleh selisih nilai *lift* dan *drag* antara *foil* depan dan *foil* belakang pada tiga variasi model perletakan *foil* pada *froude number* 0,8 sampai dengan 1,2, dengan kondisi sarat dan displacement dari kapal cepat *hydrofoil* dianggap sama pada setiap kondisi nilai *froude number* karena panjang garis air (LWL) kapal dianggap sama pada setiap variasi *froude number*, sehingga perubahan sarat akibat *lift* yang dihasilkan pada setiap variasi kecepatan/*froude* belum dijadikan inputan dalam melakukan pengujian ini.

Tabel 5.12 *Lift* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=0,8$ ;  $V=9,53$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift</i> (N)	Stern <i>Foil Lift</i> (N)	<i>Lift Difference</i>
A	84874.90	66840.10	26.98%
B	80114.10	72592.40	10.36%
C	81207.90	76154.90	6.64%

Pada kondisi *froude number* 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.12 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 26,98% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 10,36% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 6,64% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.13 *Lift* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=0,9$ ;  $V=10,72$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift</i> (N)	Stern <i>Foil Lift</i> (N)	<i>Lift Difference</i>
A	106206.00	79420.70	33.73%
B	100611.00	85885.00	17.15%
C	103577.00	92662.10	11.78%

Tabel 5.14 *Lift* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=1,0$ ;  $V=11,91$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift</i> (N)	Stern <i>Foil Lift</i> (N)	<i>Lift Difference</i>
A	129829.00	95053.80	36.58%
B	123057.00	104611.00	17.63%
C	127381.00	110255.00	15.53%

Pada kondisi *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.13 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 33,73% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 17,15% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 11,78% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.

Pada kondisi *froude number* 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.14 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *lift force*

36,58% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 17,63% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 15,53% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.

Pada kondisi *froude number* 1,1 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.15 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 36,58% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 16,07% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 15,99% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.15 *Lift* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 1,1$ ;  $V = 13,10$  m/s

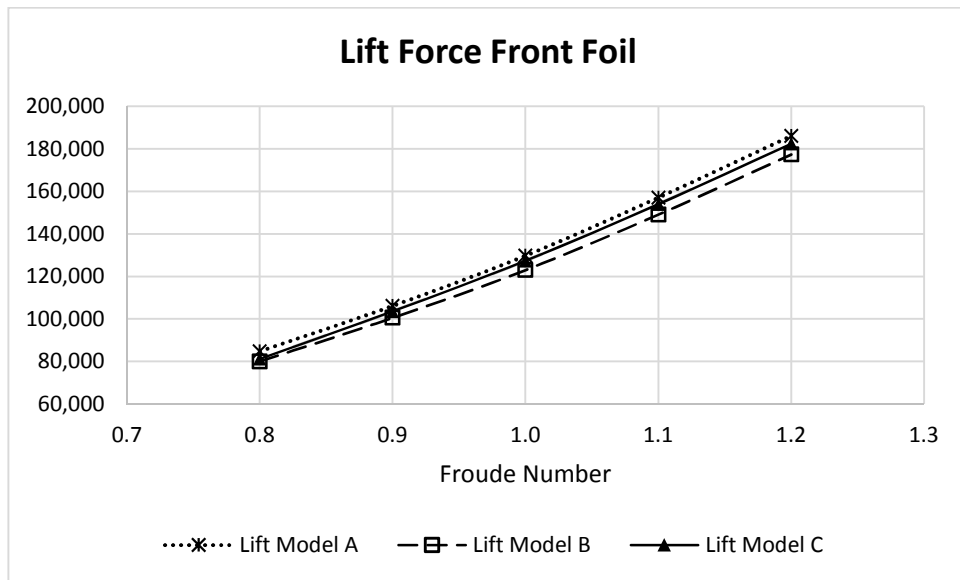
Model	Front <i>Foil Lift</i> (N)	Stern <i>Foil Lift</i> (N)	<i>Lift Difference</i>
A	157140.00	115050.00	36.58%
B	149141.00	128493.00	16.07%
C	153940.00	132722.00	15.99%

Pada kondisi *froude number* 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.16 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 34,90% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 13,42% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *lift force* 16,09% lebih kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.

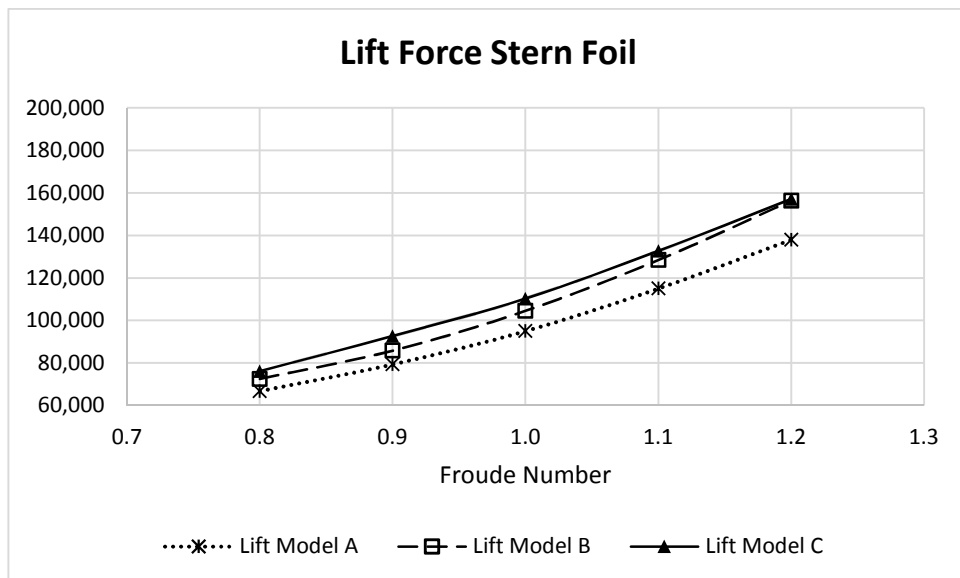
Tabel 5.16 *Lift* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 1,2$ ;  $V = 14,30$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift</i> (N)	Stern <i>Foil Lift</i> (N)	<i>Lift Difference</i>
A	186154.00	137996.00	34.90%
B	177361.00	156379.00	13.42%
C	182373.00	157097.00	16.09%

Perbandingan nilai *lift force foil* depan dan *foil* belakang pada *froude number* 0,8-1,2 pada berbagai variasi perletakan *foil* belakang terhadap LWL kapal ditunjukkan pada Gambar 5.9 dan 5.10.



Gambar 5.9 Perbandingan *Lift Foil* Depan



Gambar 5.10 Perbandingan *Lift Foil* Belakang

Pada kondisi *froude number* 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.17 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 10,93% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 6,57% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 8,86% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.17 *Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=0,8$ ;  $V=9,53$  m/s

Model	Front <i>Foil Drag</i> (N)	Stern <i>Foil Drag</i> (N)	<i>Drag Difference</i>
A	7360.22	6635.21	10.93%
B	7837.24	7353.91	6.57%
C	8091.91	7433.00	8.86%

Pada kondisi *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.18 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 13,90% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 9,59% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 11,14% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.18 *Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=0,9$ ;  $V=10,72$  m/s

Model	Front <i>Foil Drag</i> (N)	Stern <i>Foil Drag</i> (N)	<i>Drag Difference</i>
A	9319.80	8182.39	13.90%
B	9964.34	9092.66	9.59%
C	10411.90	9367.89	11.14%

Tabel 5.19 *Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n=1,0$ ;  $V=11,91$  m/s

Model	Front <i>Foil Drag</i> (N)	Stern <i>Foil Drag</i> (N)	<i>Drag Difference</i>
A	11370.90	9860.07	15.32%
B	12241.10	11021.80	11.06%
C	12599.90	11201.60	12.48%

Pada kondisi *froude number* 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.19 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 15,32% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 11,06% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 12,48% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan.

Pada kondisi *froude number* 1,1 dengan kecepatan 13,10 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.20 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 15,90% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 11,42% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 13,24% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.20 *Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 1,1$ ;  $V = 13,10$  m/s

Model	Front <i>Foil</i> <i>Drag</i> (N)	Stern <i>Foil</i> <i>Drag</i> (N)	<i>Drag</i> Difference
A	13626.40	11757.10	15.90%
B	14710.80	13203.00	11.42%
C	15282.00	13495.20	13.24%

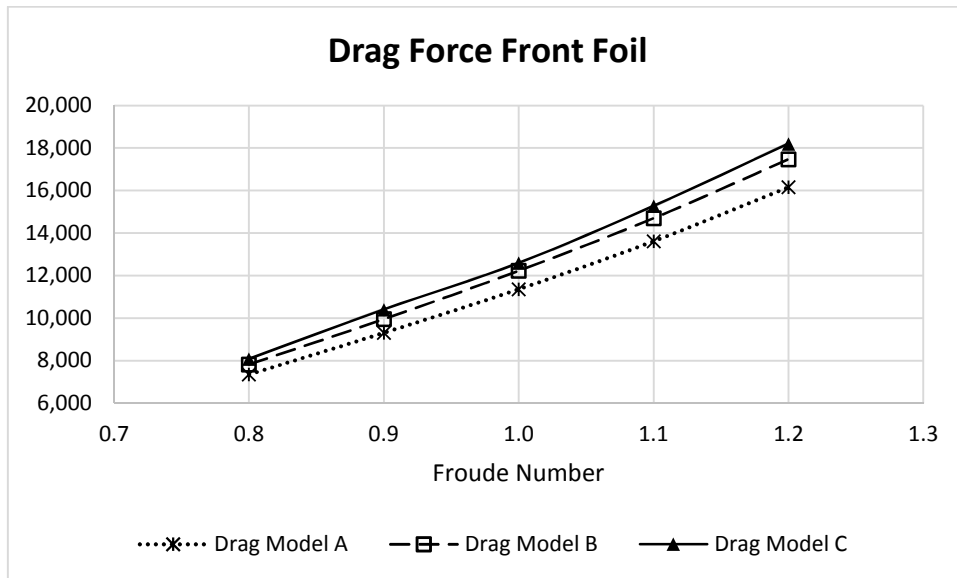
Pada kondisi *froude number* 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.21 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 15,93% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 11,32% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan *drag force* 13,71% lebih kecil dibandingkan dengan *drag force* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.21 *Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 1,2$ ;  $V = 14,30$  m/s

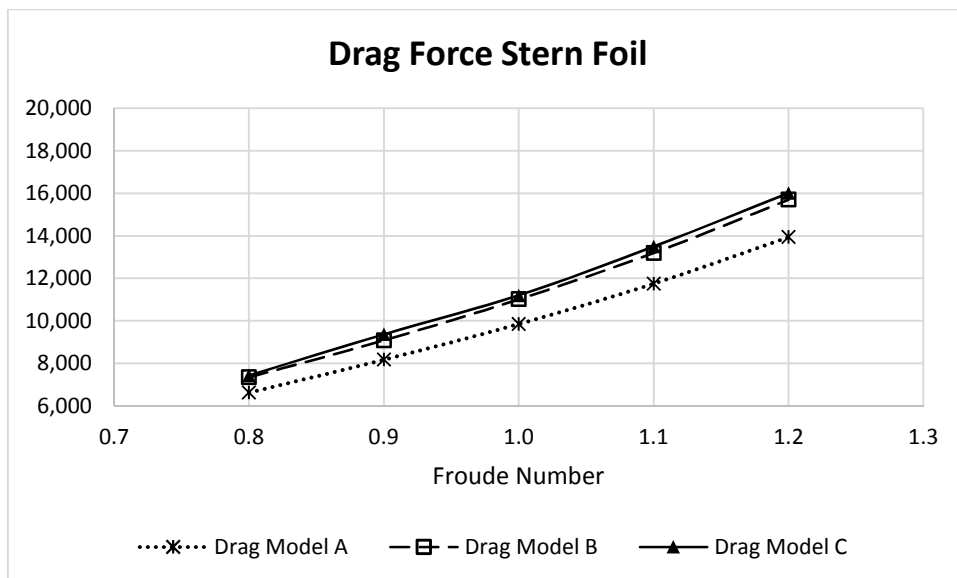
Model	Front <i>Foil</i> <i>Drag</i> (N)	Stern <i>Foil</i> <i>Drag</i> (N)	<i>Drag</i> Difference
A	16166.00	13945.20	15.93%
B	17483.30	15705.90	11.32%
C	18205.30	16009.80	13.71%



Perbandingan nilai *drag force foil* depan dan *foil* belakang pada *froude number* 0,8-1,2 pada berbagai variasi perletakan *foil* belakang terhadap LWL kapal ditunjukkan pada Gambar 5.11 dan 5.12.



Gambar 5.11 Perbandingan *Drag Foil* Depan



Gambar 5.12 Perbandingan *Drag Foil* Belakang

Rasio *lift* dan *drag* pada kondisi *froude number* 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.22 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 14,47% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 3,56% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 2,05% lebih besar dibandingkan dengan *foil* depan.

Tabel 5.22 Rasio *Lift/Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 0,8$ ;  $V = 9,53$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift/Drag</i>	Stern <i>Foil Lift/Drag</i>	<i>Lift/Drag Difference</i>
A	11.53	10.07	14.47%
B	10.22	9.87	3.56%
C	10.04	10.25	-2.05%

Rasio *lift* dan *drag* pada kondisi *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.23 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 17,41% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 6,90% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 0,57% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan.

Tabel 5.23 Rasio *Lift/Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n = 0,9$ ;  $V = 10,72$  m/s

Model	Front <i>Foil Lift/Drag</i>	Stern <i>Foil Lift/Drag</i>	<i>Lift/Drag Difference</i>
A	11.40	9.71	17.41%
B	10.10	9.45	6.90%
C	9.95	9.89	0.57%

Rasio *lift* dan *drag* pada kondisi *froude number* 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.24 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 18,44% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 5,92% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 2,71% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan.

Rasio *lift* dan *drag* pada kondisi *froude number* 1,1 dengan kecepatan 13,10 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.25 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 17,85% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 4,17% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 2,43% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan.

Tabel 5.24 Rasio *Lift/Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n= 1,0$ ;  $V= 11,91$  m/s

Model	Front <i>Foil</i> <i>Lift/Drag</i>	Stern <i>Foil Lift/Drag</i>	<i>Lift/Drag</i> Difference
A	11.42	9.64	18.44%
B	10.05	9.49	5.92%
C	10.11	9.84	2.71%

Tabel 5.25 Rasio *Lift/Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n= 1,1$ ;  $V= 13,10$  m/s

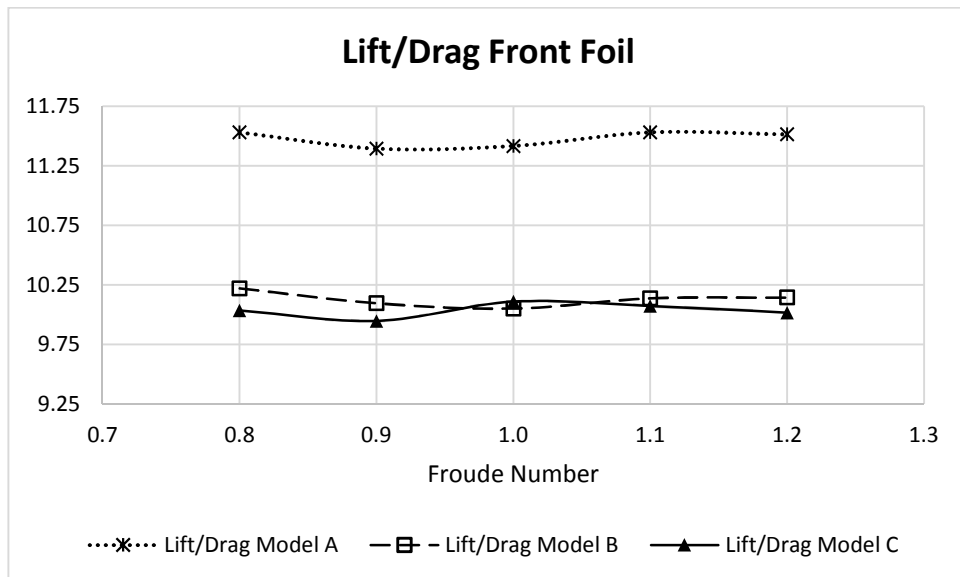
Model	Front <i>Foil</i> <i>Lift/Drag</i>	Stern <i>Foil Lift/Drag</i>	<i>Lift/Drag</i> Difference
A	11.53	9.79	17.85%
B	10.14	9.73	4.17%
C	10.07	9.83	2.43%

Rasio *lift* dan *drag* pada kondisi *froude number* 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.26 dimana pada Model A, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 16,37% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model B, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 1,89% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan. Pada Model C, *foil* belakang menghasilkan rasio *lift* dan *drag* 2,09% lebih kecil dibandingkan dengan *foil* depan.

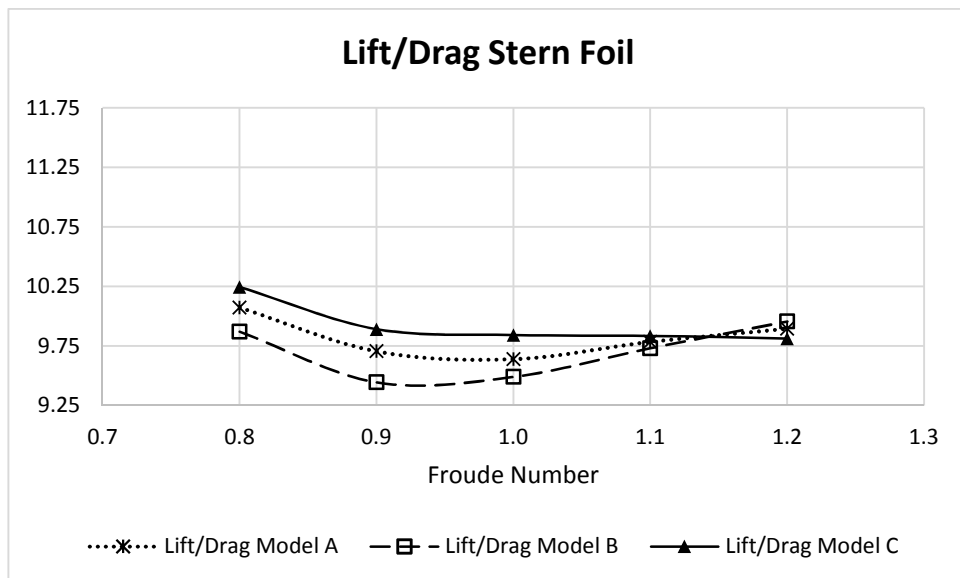
Tabel 5.26 Rasio *Lift/Drag* Hasil Pengujian Bagian *Foil*  $F_n= 1,2$ ;  $V= 14,30$  m/s

Model	Front <i>Foil</i> <i>Lift/Drag</i>	Stern <i>Foil Lift/Drag</i>	<i>Lift/Drag</i> Difference
A	11.52	9.90	16.37%
B	10.14	9.96	1.89%
C	10.02	9.81	2.09%

Perbandingan nilai rasio *lift* dan *drag foil* depan dan *foil* belakang pada *froude number* 0,8-1,2 pada berbagai variasi perletakan *foil* belakang terhadap LWL kapal ditunjukkan pada Gambar 5.13 dan 5.14.



Gambar 5.13 Perbandingan Rasio *Lift/Drag Foil* Depan



Gambar 5.14 Perbandingan Rasio *Lift/Drag Foil* Belakang

### 5.1.2.2 Hasil pengujian sistem *hydrofoil*

Pada pengujian ini, bagian yang dianalisa adalah bagian *foil* dengan strut (*foil system*) pada model uji kapal cepat *hydrofoil* seperti pada Gambar 5.6 (b). Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai *lift* dan *drag* dari sistem *foil* (*foil* + strut) depan dan belakang pada kapal cepat *hydrofoil*. Sehingga diperoleh nilai *lift*, *drag*, serta rasio *lift/drag* pada tiga variasi model perletakan *foil* pada *froude number* 0,8 sampai dengan 1,2 dengan kondisi sarat dan displacement dari kapal cepat *hydrofoil* dianggap sama pada setiap kondisi nilai *froude number* karena panjang garis air (LWL) kapal dianggap sama pada setiap variasi *froude number*, sehingga perubahan sarat akibat *lift* yang dihasilkan pada setiap variasi kecepatan/*froude number* belum dijadikan inputan dalam melakukan pengujian ini.

Rasio *lift* dan *drag* sistem *foil* pada kondisi *froude number* 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s ditunjukkan pada tabel 5.27 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 4,27. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 5,37. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,89.

Tabel 5.27 Hasil Pengujian *Foil System*  $F_n= 0,8$ ;  $V= 9,53$  m/s

Model	<i>Foil System</i> <i>Lift</i> (N)	<i>Foil System</i> <i>Drag</i> (N)	<i>Foil System</i> <i>Lift/Drag</i>
A	150311.00	35176.40	4.27
B	152080.00	28318.50	5.37
C	156474.00	40190.90	3.89

Rasio *lift* dan *drag* sistem *foil* pada kondisi *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada tabel 5.28 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,10. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 5,18. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,80.

Rasio *lift* dan *drag* sistem *foil* pada kondisi *froude number* 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.29 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 4,11. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari

sistem *foil* sebesar 5,16. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,84.

Tabel 5.28 Hasil Pengujian *Foil System*  $F_n= 0,9$ ;  $V= 10,72$  m/s

<b>Model</b>	<b><i>Foil System</i> Lift (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Drag (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Lift/Drag</b>
A	179835.00	58029.60	3.10
B	185921.00	35868.60	5.18
C	195464.00	51500.20	3.80

Tabel 5.29 Hasil Pengujian *Foil System*  $F_n= 1,0$ ;  $V= 11,91$  m/s

<b>Model</b>	<b><i>Foil System</i> Lift (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Drag (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Lift/Drag</b>
A	223912.00	54495.90	4.11
B	227148.00	43986.80	5.16
C	236944.00	61756.40	3.84

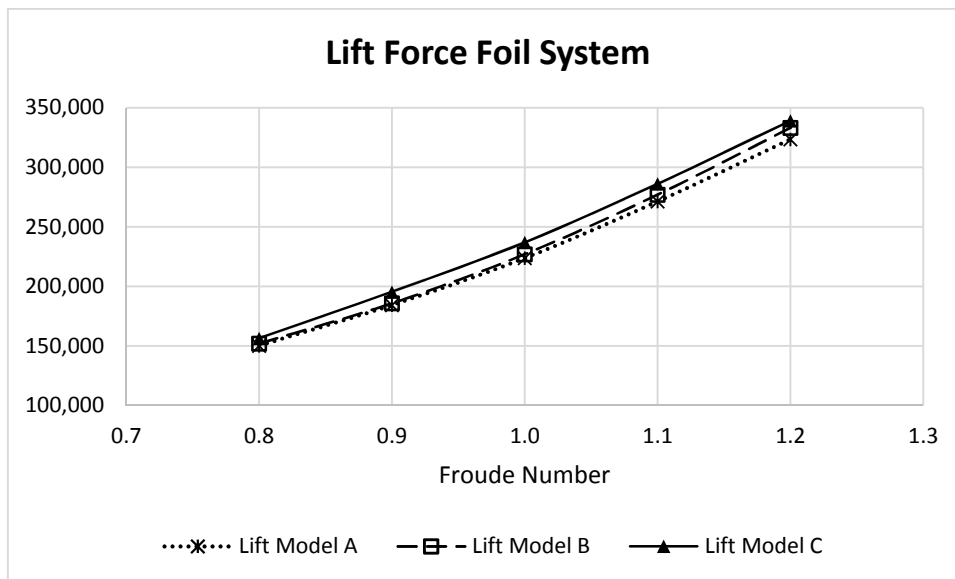
Rasio *lift* dan *drag* sistem *foil* pada kondisi *froude number* 1,1 dengan kecepatan 13,10 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.30 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 4,15. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 5,26. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,82.

Tabel 5.30 Hasil Pengujian *Foil System*  $F_n= 1,1$ ;  $V= 13,10$  m/s

<b>Model</b>	<b><i>Foil System</i> Lift (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Drag (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Lift/Drag</b>
A	271444.00	65361.50	4.15
B	277169.00	52727.40	5.26
C	286085.00	74905.20	3.82

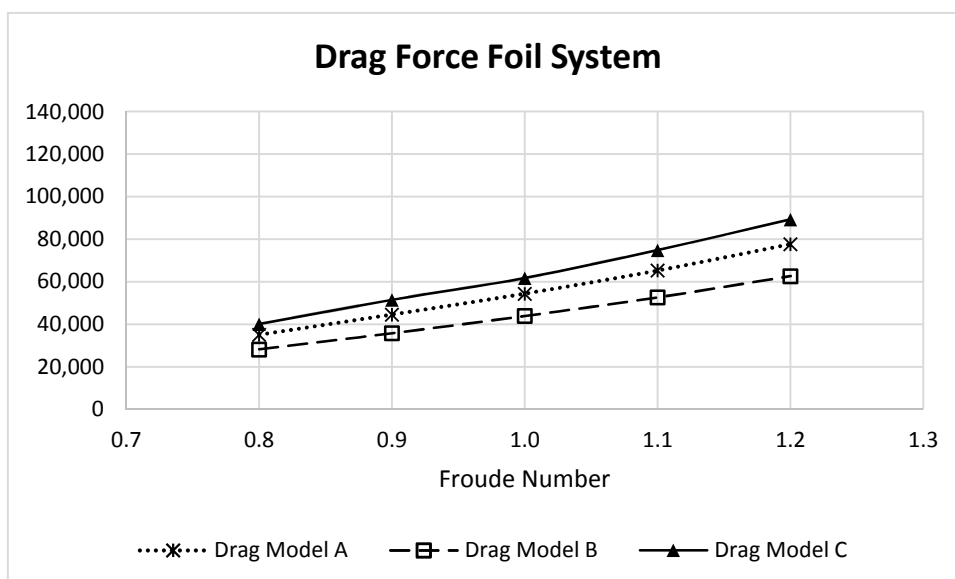
Tabel 5.31 Hasil Pengujian *Foil System*  $F_n= 1,2$ ;  $V= 14,30$  m/s

<b>Model</b>	<b><i>Foil System</i> Lift (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Drag (N)</b>	<b><i>Foil System</i> Lift/Drag</b>
A	323651.00	77799.60	4.16
B	333324.00	62724.20	5.31
C	339012.00	89326.80	3.80



Gambar 5.15 Perbandingan *Lift Foil System*

Rasio *lift* dan *drag* sistem *foil* pada kondisi *froude number* 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.31 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 4,16. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 5,31. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari sistem *foil* sebesar 3,80.



Gambar 5.16 Perbandingan *Drag Foil System*

Perbandingan nilai dan nilai *drag* sistem *foil* (*foil*+strut) kapal cepat pada *froude number* 0,8-1,2 pada berbagai variasi perletakan *foil* belakang terhadap LWL kapal ditunjukkan pada gambar 5.15 dan 5.16.

### 5.1.2.3 Hasil pengujian kapal cepat *hydrofoil*

Pada pengujian ini, bagian yang dianalisa adalah seluruh bagian kapal (*foil*, strut, dan lambung kapal) pada model uji kapal cepat *hydrofoil* seperti pada Gambar 5.6(c). Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* (*foil* + strut + lambung kapal). Sehingga diperoleh nilai *lift*, *drag*, serta rasio *lift/drag* pada tiga variasi model perletakan *foil* pada *froude number* 0,8 sampai dengan 1,2 dengan kondisi sarat dan displacement dari kapal cepat *hydrofoil* dianggap sama pada setiap kondisi nilai *froude number* karena panjang garis air (LWL) kapal dianggap sama pada setiap variasi *froude number*, sehingga perubahan sarat akibat *lift* yang dihasilkan pada setiap variasi kecepatan/*froude number* belum dijadikan inputan dalam melakukan pengujian ini.

Rasio *lift* dan *drag* kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *froude number* 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.32 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 5,63. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 6,27. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 5,33.

Tabel 5.32 Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil* Fn= 0,8; V= 9,53 m/s

Model	Ship Lift (N)	Ship Drag (N)	Ship Lift/Drag
A	328398.00	58311.50	5.63
B	332842.00	53109.40	6.27
C	346297.00	64944.70	5.33

Tabel 5.33 Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil* Fn= 0,9; V= 10,72 m/s

Model	Ship Lift (N)	Ship Drag (N)	Ship Lift/Drag
A	325921.00	66623.70	4.89
B	328572.00	59496.80	5.52
C	327776.00	72540.40	4.52



Rasio *lift* dan *drag* kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.33 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,59. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 5,52. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,52.

Tabel 5.34 Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil*  $F_n= 1,0$ ;  $V= 11,91$  m/s

Model	Ship Lift (N)	Ship Drag (N)	Ship Lift/Drag
A	383041.00	80439.40	4.76
B	366450.00	70221.80	5.22
C	454001.00	94443.90	4.81

Rasio *lift* dan *drag* kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *froude number* 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.34 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,76. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 5,22. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,81.

Tabel 5.35 Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil*  $F_n= 1,1$ ;  $V= 13,10$  m/s

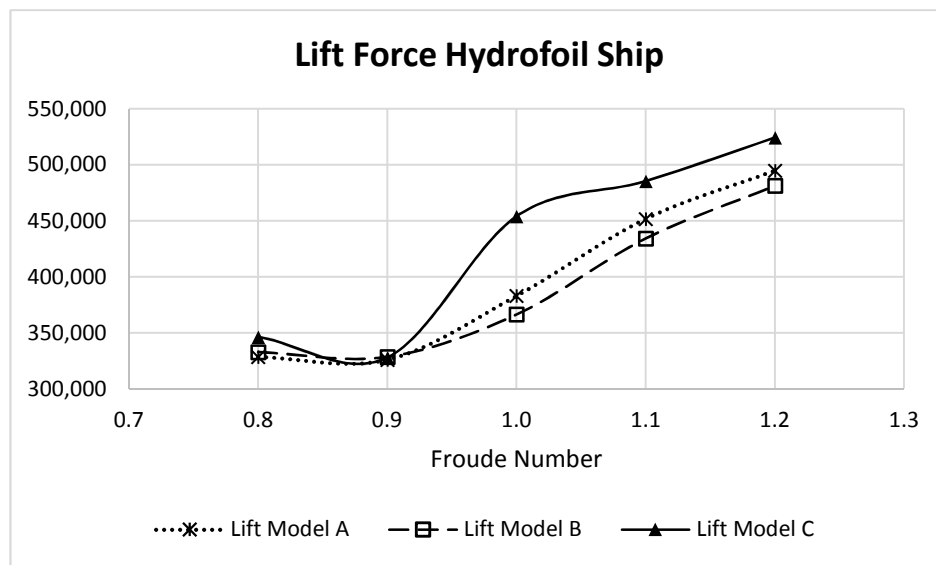
Model	Ship Lift (N)	Ship Drag (N)	Ship Lift/Drag
A	451849.00	97216.00	4.65
B	434396.00	85222.40	5.10
C	485475.00	109302.00	4.44

Rasio *lift* dan *drag* kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *froude number* 1,1 dengan kecepatan 13,10 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.35 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,65. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 5,10. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,44.

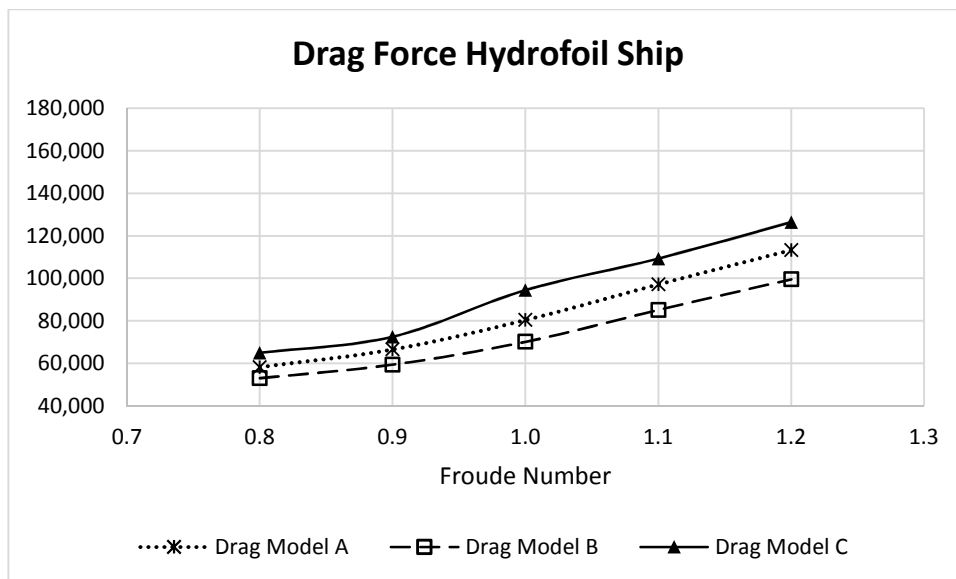
Tabel 5.36 Hasil Pengujian Kapal Cepat *Hydrofoil*  $F_n= 1,2$ ;  $V= 14,30$  m/s

Model	Ship Lift (N)	Ship Drag (N)	Ship Lift/Drag
A	494999.00	113356.00	4.37
B	481377.00	99594.00	4.83
C	524312.00	126405.00	4.15

Rasio *lift* dan *drag* kapal cepat *hydrofoil* pada kondisi *froude number* 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s ditunjukkan pada Tabel 5.36 dimana pada Model A, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,37. Model B dengan rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,83. Sedangkan pada Model C, rasio *lift* dan *drag* dari kapal cepat *hydrofoil* sebesar 4,15.



Gambar 5.17 Perbandingan *Lift* Kapal Cepat *Hydrofoil*



Gambar 5.18 Perbandingan *Drag* Kapal Cepat *Hydrofoil*

Perbandingan nilai *lift* dan nilai *drag* kapal cepat *hydrofoil* (*foil*+strut+lambung kapal) pada *froude number* 0,8-1,2 pada berbagai variasi perletakan *foil* belakang terhadap LWL kapal ditunjukkan pada Gambar 5.17 dan 5.18.

## 5.2 Pembahasan

Penelitian yang mengkaji posisi perletakan *hidrofoil* yang dilakukan sebelumnya adalah dengan memvariasikan jarak *foil* depan dan *foil* belakang kapal di arah horizontal (Saputro dan Suastika, 2012), namun kajian posisi perletakan *hydrofoil* di arah *vertikal* belum pernah dilakukan sebelumnya. Dalam menganalisa hasil dari pengujian kapal cepat *hydrofoil*, nilai *lift*, *drag*, serta rasio *lift* dan *drag* menjadi acuan dalam menentukan model yang paling optimum. Besnard dkk. (1998) melakukan penelitian untuk mengoptimasi penampang *foil*, desain strut cross dan bagian *foil*, serta menganalisa struktur *foil*. Pada penelitian tersebut, penentuan penampang *foil* serta desain *foil* dan strut yang paling optimum ditentukan dengan membandingkan nilai rasio *lift* dan *drag*nya. Putman dkk (2014) yang melakukan pengujian untuk memilih jenis *foil* yang akan digunakan pada sistem kapal *hydrofoil*. Penelitian dilakukan dengan membandingkan berbagai tipe *foil* NACA, EPLER, CLARK Y, dan OAF, dimana nilai rasio *lift* dan *drag* dari *foil* yang diuji juga menjadi acuan untuk menentukan *foil* yang paling optimum. Pada penelitian ini, penentuan ukuran *foil*, serta variasi perletakan *foil* belakang terhadap sarat kapal di arah *vertikal* yang paling optimum ditentukan berdasarkan nilai rasio *lift* dan *drag* dari model yang diuji. Namun pada pemilihan ukuran *foil*, besar *lift* yang dihasilkan juga menjadi pertimbangan dalam pengambilan keputusan. Hal tersebut bertujuan untuk memenuhi kebutuhan *lift* yang dibutuhkan oleh kapal cepat *hydrofoil* mencapai kondisi *foilborne*. Dalam penelitian ini, selisih dari *lift* yang dihasilkan *foil* belakang dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan sebagai akibat dari posisi perletakan *foil* belakang juga dianalisa.

### 5.2.1 Pemilihan ukuran *foil*

Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan 2.1, dan berdasarkan data Koefisien *lift* ( $C_L$ ) dari *UIUC Airfoil Coordinates Database* maka diperoleh nilai Aspek rasio (AR) yang bervariasi. Hal ini disebabkan karena inputan koefisien *lift* yang bervariasi. Nilai Aspek rasio yang bervariasi menghasilkan ukuran panjang *Chord* (C) dari *foil* yang bervariasi juga yang ditunjukkan hasilnya pada Tabel 4.2, 4.3, dan 4.4. Untuk melakukan optimasi pemilihan ukuran *foil*, maka dilakukan pengujian terhadap ukuran *foil* yang memiliki nilai aspek rasio 4-10.

Tabel 5.37. Ukuran Utama *Free Surface-Piercing Hydrofoil Craft Of The Monohull Type* (Van Walree, 1999, as cited in Faltinsen, 2005, p.167)

Length ( <i>hull</i> )	9-40 m
Beam ( <i>hull</i> )	3-7 m
Beam ( <i>foils</i> )	3-16 m
Displacement	4-200 tonnes
Speed ( <i>foilborne</i> )	28-40 knot
<i>Foil System Aspect Ratio</i>	6-10

Tabel 5.38. Ukuran Utama *Fully Submerged Hydrofoil Craft Of The Monohull Type* (Van Walree, 1999, as cited in Faltinsen, 2005, p.167)

Length ( <i>hull</i> )	11-40 m
Beam ( <i>hull</i> )	3,5-6,5 m
Beam ( <i>foils</i> )	4,0-6,5 m
Displacement	6-250 tonnes
Speed ( <i>foilborne</i> )	36-50 knot
<i>Foil System Aspect Ratio</i>	4-10

Penentuan range nilai AR 4-10 berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan oleh F. Van Walree, 1999. Pada penelitian tersebut melakukan pengujian pada kapal cepat *hydrofoil* tipe *free surface-piercing hydrofoil* dan *fullysubmerged hydrofoil*. Dari penelitian tersebut diperoleh hasil pengujian seperti pada Tabel 5.37 dan Tabel 5.38. Berdasarkan hal tersebut, diperoleh empat (4) variasi ukuran *foil* pada panjang *span* 4 meter dan tujuh (7) variasi ukuran *foil* pada panjang *span* 5 meter. Sehingga total ada sebelas (11) ukuran *foil* dengan nilai aspek rasio 4-10.

Adapun variasi ukuran *foil* yang telah diuji menggunakan computational fluid dynamics (CFD) adalah:

1. *Foil A* (*chord* 0,91 ; AR 4,40 ; *span* 4 meter)
2. *Foil B* (*chord* 0,65 ; AR 6,13 ; *span* 4 meter)
3. *Foil C* (*chord* 0,51 ; AR 7,83 ; *span* 4 meter)
4. *Foil D* (*chord* 0,43 ; AR 9,39 ; *span* 4 meter)
5. *Foil E* (*chord* 1,21 ; AR 4,14 ; *span* 5 meter)
6. *Foil F* (*chord* 1,14 ; AR 4,40 ; *span* 5 meter)
7. *Foil G* (*chord* 0,82 ; AR 6,13 ; *span* 5 meter)
8. *Foil H* (*chord* 0,64 ; AR 7,83 ; *span* 5 meter)
9. *Foil I* (*chord* 0,53 ; AR 9,39 ; *span* 5 meter)
10. *Foil J* (*chord* 0,73 ; AR 6,87 ; *span* 5 meter)
11. *Foil K* (*chord* 0,52 ; AR 9,57 ; *span* 5 meter)

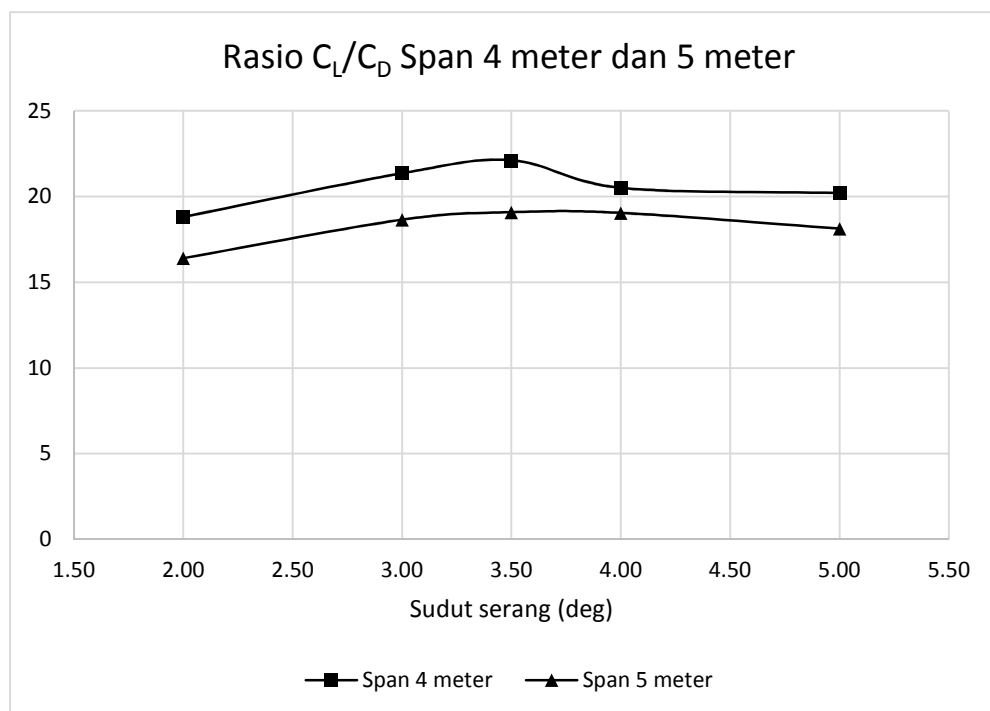
Dari hasil pengujian dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada kondisi *froude number*(Fn) 0,8 diperoleh nilai *lift* dan *drag* yang menjadi dasar pemilihan ukuran *foil* yang paling optimum. Dimana nilai rasio  $C_L/C_D$  yang tertinggi diperoleh pada *foil* dengan *span* 4 meter, nilai aspek rasio (AR)= 9,39 dan panjang *chord*= 0,43 meter. Namun *lift* yang dihasilkan dari hasil pengujian sebesar 35.77 Newton pada sudut serang  $3,5^0$  dengan nilai  $C_L/C_D$ = 22,12 (Tabel 5.4, Gambar 5.1).

Tabel 5.39. Perbandingan *Foil Span* 4 Meter dan 5 Meter

Sudut (deg)	<i>Lift</i> (N)		$C_L/C_D$	
	<i>Span</i> 4 meter	<i>Span</i> 5 meter	<i>Span</i> 4 meter	<i>Span</i> 5 meter
2	24283.80	52639.10	18.82	16.41
3	31926.60	73158.40	21.36	18.66
3.5	35773.70	83220.50	22.12	19.09
4	38848.30	93534.40	20.51	19.05
5	46106.10	113425.00	20.21	18.14

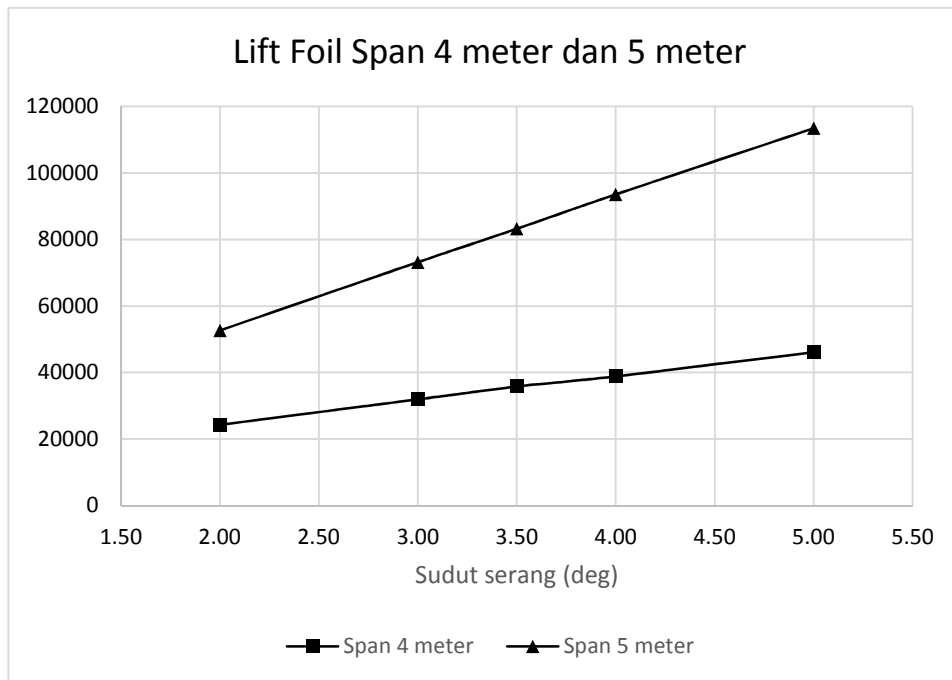
Pada *foil* dengan panjang *span* 5 meter (lebih panjang 25% dari *span* 4 meter), ukuran *foil* yang optimum berdasarkan nilai  $C_L/C_D$  *foil* adalah dengan nilai aspek rasio (AR)= 4,40 dan panjang *chord*= 1,14 meter. *Lift* yang dihasilkan adalah

83.220,50 Newton pada sudut serang  $3,5^0$ , 93.534,40 Newton pada sudut serang  $4^0$ , dan 113.43 Newton pada sudut serang  $5^0$ . Sedangkan nilai  $C_L/C_D = 19,09$  pada sudut serang  $3,5^0$ , 19,05 pada sudut serang  $4^0$ , dan 18,14 pada sudut serang  $5^0$  (Tabel 5.5, Gambar 5.6) Kebutuhan *lift foil* belakang yang dibutuhkan adalah sebesar 98.085,07 Newton untuk membuat posisi kapal *hydrofoil* dalam kondisi *foilborne* pada *froude number* (Fn) 0,8.



Gambar 5.19 Perbandingan Rasio  $C_L/C_D$  Foil Span 4 Meter dan 5 Meter

Ukuran *foil* yang akan digunakan pada pemodelan kapal cepat *hydrofoil* adalah yang memiliki panjang *span* 5 meter karena memiliki nilai *lift* yang jauh lebih besar daripada *foil* dengan panjang *span* 4 meter (Gambar 5.20) meskipun nilai  $C_L/C_D$  *span* 4 meter lebih tinggi dibandingkan *foil* dengan panjang *span* 5 meter (Gambar 5.19). *Foil* dengan panjang *span* 5 meter yang dipilih dari tujuh (7) variasi adalah yang memiliki nilai  $C_L/C_D$  yang paling tinggi (Tabel 5.5, Gambar 5.6) yaitu *foil* yang memiliki ukuran panjang *span*= 5 meter, *Chord*= 1,14 meter, dan nilai aspek rasio (AR)= 4,40.



Gambar 5.20 Perbandingan *Lift Foil Span 4 Meter dan 5 Meter*

### 5.2.2 Selisih gaya angkat (*lift*) *foil* depan dan *foil* belakang

Jarak kedalaman posisi *foil* belakang terhadap sarat kapal memiliki pengaruh terhadap besarnya *lift* dan *drag* yang dihasilkan. Berdasarkan hasil pengujian pada tiga posisi perletak *hydrofoil* kapal diperoleh selisih nilai *lift* dan *drag* dari *foil* depan dan *foil* belakang. Pada *froude number* ( $F_n$ ) 0,8 dengan kecepatan 9,53 m/s, ketiga variasi model kapal cepat *hydrofoil* menghasilkan *lift foil* belakang yang lebih kecil daripada *lift* yang dihasilkan oleh *foil* depan (Tabel 5.40) dimana Model C memiliki selisih *lift foil* depan dan *foil* belakang terkecil. Pada Model A dengan kedalaman *foil* depan dan belakang sama yaitu 4,46 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 26,98% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.40. Selisih Nilai *Lift Foil* Depan an *Foil* Belakang pada Kondisi  $F_n = 0,8$ ;  $V = 9,53$  m/s

Model	Lift Difference
A	26.98%
B	10.36%
C	6.64%

Pada Model B dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 2,23 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 10,36% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Dan pada Model C dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 6,69 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 6,64% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

Pada *froude number* ( $F_n$ ) 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s, ketiga variasi model kapal cepat *hydrofoil* menghasilkan *lift foil* belakang yang lebih kecil daripada *lift* yang dihasilkan oleh *foil* depan (Tabel 5.41) dimana Model C memiliki selisih *lift foil* depan dan *foil* belakang terkecil.

Tabel 5.41. Selisih Nilai *Lift Foil* Depan dan *Foil* Belakang pada Kondisi  $F_n = 0,9$ ;  $V = 10,72$  m/s

Model	Lift Difference
A	33.73%
B	17.15%
C	11.78%

Model A dengan kedalaman *foil* depan dan belakang sama yaitu 4,46 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 33,73% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Model B dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 2,23 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 17,15% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Dan pada Model C dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 6,69 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 11,78% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.42. Selisih Nilai *Lift Foil* Depan dan *Foil* Belakang pada Kondisi  $F_n = 1,0$ ;  $V = 11,91$  m/s

Model	Lift Difference
A	36.58%
B	17.63%
C	15.53%



Pada *froude number* ( $F_n$ ) 1,0 dengan kecepatan 11,91 m/s, ketiga variasi model kapal cepat *hydrofoil* menghasilkan *lift foil* belakang yang lebih kecil daripada *lift* yang dihasilkan oleh *foil* depan (Tabel 5.42) dimana Model C memiliki selisih *lift foil* depan dan *foil* belakang terkecil. Pada Model A dengan kedalaman *foil* depan dan belakang sama yaitu 4,46 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 36,58% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Model B dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 2,23 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 17,63% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Dan pada Model C dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 6,69 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 15,53% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.43. Selisih Nilai *Lift Foil* Depan dan *Foil* Belakang pada Kondisi  $F_n = 1,1$ ;  $V = 13,10$  m/s

Model	Lift Difference
A	36.58%
B	16.07%
C	15.99%

Pada *froude number* ( $F_n$ ) 1,1 dengan kecepatan 13,10 m/s, ketiga variasi model kapal cepat *hydrofoil* menghasilkan *lift foil* belakang yang lebih kecil daripada *lift* yang dihasilkan oleh *foil* depan (Tabel 5.43) dimana Model C memiliki selisih *lift foil* depan dan *foil* belakang terkecil. Pada Model A dengan kedalaman *foil* depan dan belakang sama yaitu 4,46 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 36,58% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Model B dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 2,23 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 16,07% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Dan pada Model C dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 6,69 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 15,99% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

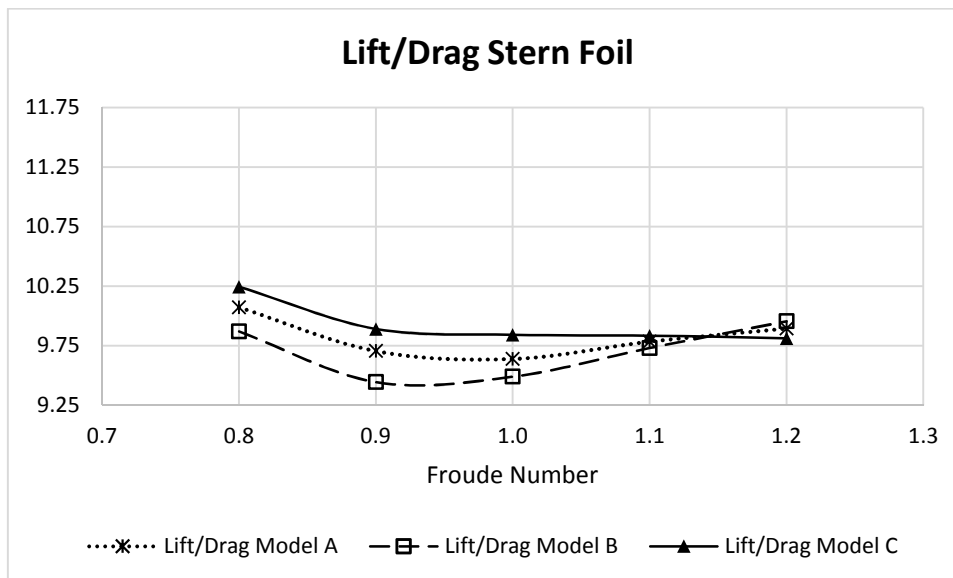
Pada *froude number* ( $F_n$ ) 1,2 dengan kecepatan 14,30 m/s, ketiga variasi model kapal cepat *hydrofoil* menghasilkan *lift foil* belakang yang lebih kecil daripada *lift* yang dihasilkan oleh *foil* depan (Tabel 5.44) dimana Model C memiliki selisih *lift foil* depan dan *foil* belakang terkecil. Pada Model A dengan kedalaman *foil* depan dan belakang sama yaitu 4,46 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 34,90% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Model B dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 2,23 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 13,42% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan. Dan pada Model C dengan kedalaman *foil* depan 4,46 meter dan *foil* belakang 6,69 meter dari sarat kapal, *foil* belakang menghasilkan *lift* lebih kecil 16,09% dibandingkan dengan *lift* yang dihasilkan *foil* depan.

Tabel 5.44. Selisih Nilai *Lift Foil* Depan dan *Foil* Belakang pada Kondisi  $F_n = 1,2$ ;  $V = 14,30$  m/s

Model	Lift Difference
A	34.90%
B	13.42%
C	16.09%

Pada Model A, selisih *lift foil* pada  $F_n$  0,8 ke  $F_n$  0,9 dan 1,0 meningkat sebesar 6,75% dan 2,85% dari 26,98% ( $F_n=0,8$ ) ke 33,73% ( $F_n=0,9$ ) dan 36,58% ( $F_n=1,0$ ). Namun selisih *lift foil* pada  $F_n$  1,1 sama dengan selisih *lift foil* pada  $F_n$  1,0 sebesar 36,58%, Kemudian pada  $F_n$  1,2 selisih *lift foil* berkurang sebesar 1,68% dari 36,58% pada  $F_n$  1,1 menjadi 34,90%. Model B juga mengalami fenomena yang sama dengan *foil* A, selisih *lift* bertambah besar antara  $F_n$  0,8 dan  $F_n$  0,9 yaitu sebesar 6,79%. Sedangkan pada  $F_n$  0,9 dan 1,0 hanya sebesar 0,48% kemudian berkurang 1,56% pada  $F_n$  1,1 dan terus berkurang sebesar 2,65% pada  $F_n$  1,2. Pada Model C, selisih *lift foil* pada  $F_n$  0,8 ke  $F_n$  0,9 dan 1,0 meningkat sebesar 5,14% dan 3,75% dari 6,64% ( $F_n=0,8$ ) ke 11,78% ( $F_n=0,9$ ) dan 15,53% ( $F_n=1,0$ ). Selisih *lift foil* pada  $F_n$  1,1 dan  $F_n$  1,0 sebesar 36,58%, Kemudian pada  $F_n$  1,2 selisih *lift foil* berkurang sebesar 1,68% dari 0,43% pada  $F_n$  1,1 menjadi 15,99%.

Berdasarkan selisih *foil* depan dan belakang pada Tabel 5.40, 5.41, 5.42, 5.43, 5.44. dimana *foil* belakang menghasilkan *lift* yang lebih kecil, menunjukkan bahwa variasi perletakan *foil* belakang yang memiliki selisih *lift* terkecil pada setiap variasi nilai *froude number* adalah pada kapal cepat hifrofoil model C. Pada Gambar 5.21 menunjukkan bahwa nilai rasio *lift/drag foil* belakang pada model C terus menurun seiring dengan peningkatan nilai *froude number*. Sedangkan pada Model A dan Model B, penurunan nilai rasio *lift/drag foil* belakang hanya terjadi pada *froude number* 0,9 dan 1,0. Namun pada *froude number* 1,1 dan 1,2 nilai rasio *lift/drag foil* belakang terus meningkat.



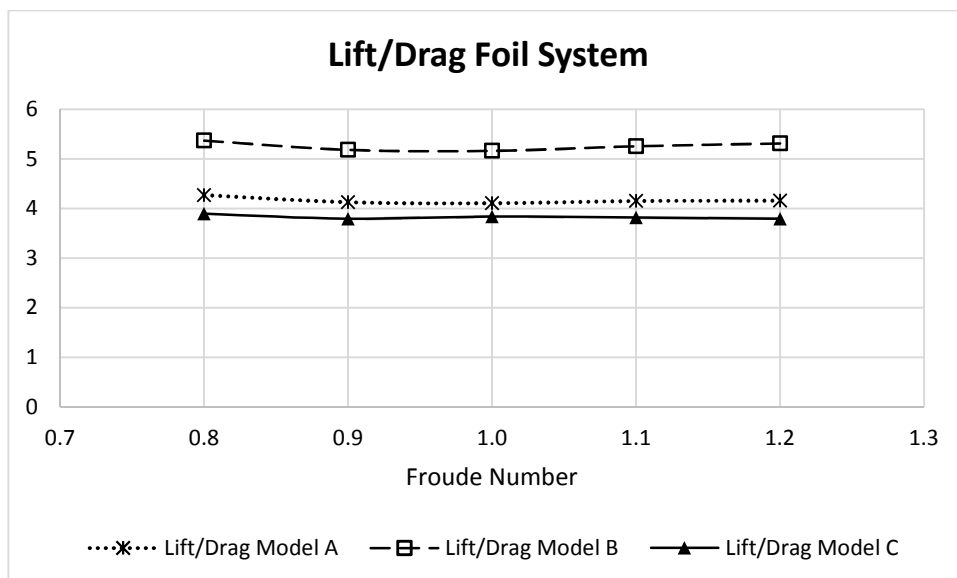
Gambar 5.21 Perbandingan Rasio *Lift/Drag Foil* Belakang

### 5.2.2.2 Sistem *foil* (*foil* dan strut)

Untuk mengetahui karakteristik dari sistem *hydrofoil*, perlu di analisa karakteristik dari sistem *foil* pendukung, yaitu karakteristik dari *foil* depan dan belakang dengan memperhatikan penambahan strut. Dengan menganalisa *foil* dan strut dari sistem *foil*, dapat diketahui karakteristik utuh dari sitem *foil* kapal cepat *hydrofoil*. Pada Gambar 5.15 menunjukkan bahwan *lift force* sistem *foil* pada model C adalah yang terbesar meskipun memiliki selisih yang kecil dengan besar *lift force* sistem *foil* pada model B dan A. Pada kondisi fruode number( $F_n$ ) 0,8 (Tabel 5.27),

*Lift* Model C adalah 156.474,00 Newton. *Lift* Model B= 152.080,00 Newton dan Model A= 150.311,00 Newton. Pada kondisi *fruede number*(Fn) 0,9 (Tabel 5.28), *Lift* Model C adalah 195.000,00 Newton. *Lift* Model B= 185.921,00 Newton dan Model A= 179.835,00 Newton. Pada kondisi *fruede number*(Fn) 1,0 (Tabel 5.29), *Lift* Model C adalah 236.944,00 Newton. *Lift* Model B= 227.148,00 Newton dan Model A= 223.912,00 Newton. Pada kondisi *fruede number*(Fn) 1,1 (Tabel 5.30), *Lift* Model C adalah 286.085,00 Newton. *Lift* Model B= 277.169,00 Newton dan Model A= 271.444,00 Newton. Pada kondisi *fruede number*(Fn) 1,2 (Tabel 5.31), *Lift* Model C adalah 339.012,00 Newton. *Lift* Model B= 333.324,00 Newton dan Model A= 323.651,00 Newton.

Besarnya nilai *Lift* Model C dibanding kedua model yang lain juga diikuti dengan besarnya nilai *drag* dari *foil* sistem Model C (Gambar 5.16) yang menunjukkan bahwa Model C juga memiliki *drag force* yang besar dan memiliki selisih yang cukup besar dibandingkan dengan Model B dan Model A. Tingginya *drag force* yang dihasilkan oleh Model C mengakibatkan nilai rasio *lift* dan *drag*nya menjadi lebih kecil dila dibandingkan dengan Model A dan Model B (Gambar 5.22).



Gambar 5.22 Perbandingan *Lift/Drag Foil System*

Rasio *Lift/Drag* yang terbaik adalah pada kapal cepat *hydrofoil* Model B karena memiliki nilai yang paling tinggi, yaitu kapal cepat *hydrofoil* yang posisi *foil* belakangnya lebih pendek dari pada *foil* depannya.

Model B, yang merupakan model dengan variasi perletakan *foil* belakang yang paling optimum harus dipastikan mampu membuat kapal cepat *hydrofoil* dalam kondisi *foilborne*. *Lift* total yang dibutuhkan untuk membuat kapal dalam kondisi *foilborne* adalah 183.750,00 Newton. Pada Tabel 5.28, Model B menghasilkan *lift* sebesar 185.921,00 Newton. Hal ini menunjukkan bahwa variasi perletakan *foil* belakang Model B mampu membuat kapal dalam kondisi *foilborne* pada *froude number* 0,9, yaitu pada saat kecepatan kapal 10,72 m/s.

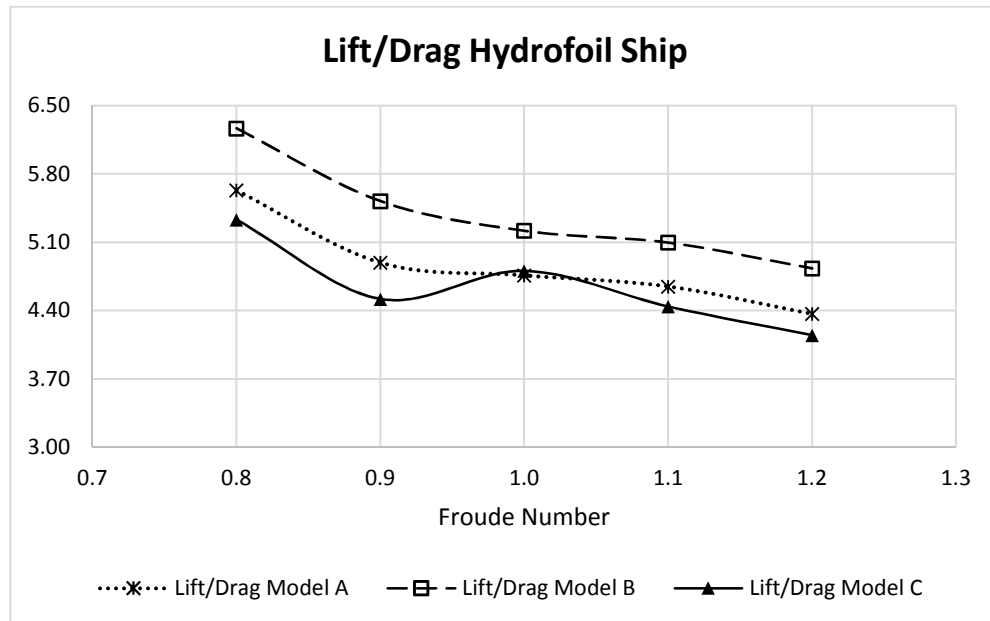
Jika memperhatikan kebutuhan *lift* yang dibutuhkan pada masing-masing *foil* depan dan *foil* belakang dimana pada kondisi *foilborne*, *foil* depan membutuhkan *lift* sebesar 85.664,93 Newton dan kebutuhan *lift foil* belakang sebesar 98.085,07 Newton. Dengan memperhatikan kondisi tersebut, kebutuhan *lift foil* depan sudah terpenuhi pada *froude number* 0,9 (Tabel 5.13) pada kecepatan kapal 10,72 m/s, tetapi kebutuhan *lift foil* belakang belum terpenuhi karena pada kecepatan tersebut *lift* yang dihasilkan sebesar 85.885,00 Newton. Jadi pada *froude number* 0,9 dengan kecepatan 10,72 m/s *lift* yang dihasilkan *foil* belakang masih lebih kecil dibandingkan kebutuahn *lift* yang diperlukan, yaitu sebesar 98.085,0694 Newton. Kebutuhan *lift foil* belakang baru terpenuhi pada *froude number* 1,0 (Tabel 5.14) dimana *lift* yang dihasilkan sebesar 104.611,00 Newton dan *foil* depan menghasilkan *lift* sebesar 123.057,00 Newton.

### 5.2.2.3 Kapal cepat *hydrofoil* (*foil*, *strut*, dan lambung kapal)

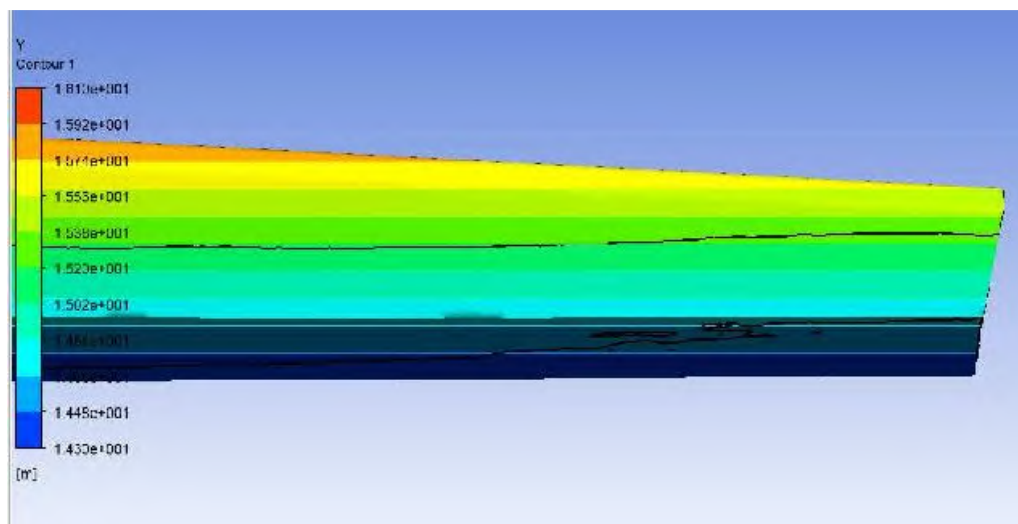
Karakteristik *lift* dan *drag* pada kapal cepat *hydrofoil* sama dengan karakteristik *lift* dan *drag* dari sistem *foil*. Hal ini dikarenakan pada analisa kapal cepat *hydrofoil* ini, penambahan lambung kapal memiliki nilai *lift* dan *drag* yang sama pada setiap variasi model baik itu model A, B, maupun model C. Model B memiliki nilai rasio *Lift/Drag* yang terbaik (Gambar 5.23).

Pengaruh pemasangan *hydrofoil* pendukung pada kapal cepat *hydrofoil* berpengaruh terhadap aliran di bagian buritan kapal. Dimana aliran *fluida* pada

lambung kapal cepat tanpa *hydrofoil* menunjukkan pola yang berbeda dibandingkan dengan kapal cepat dengan *hydrofoil* pendukung. Baik itu pada kapal cepat *hydrofoil* Model A, Model B, maupun pada Model C.

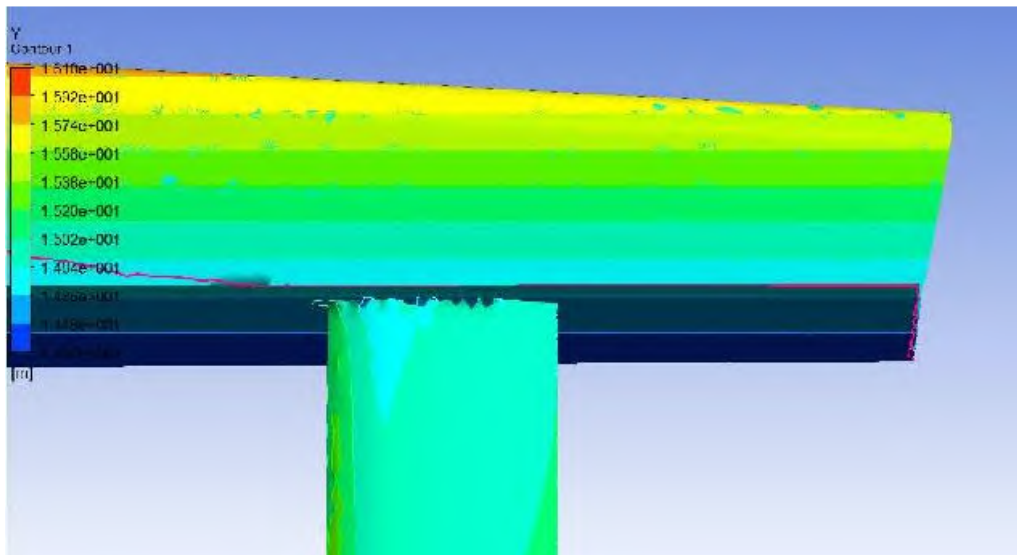


Gambar 5.23 Perbandingan *Lift/Drag* Kapal Cepat *Hydrofoil*



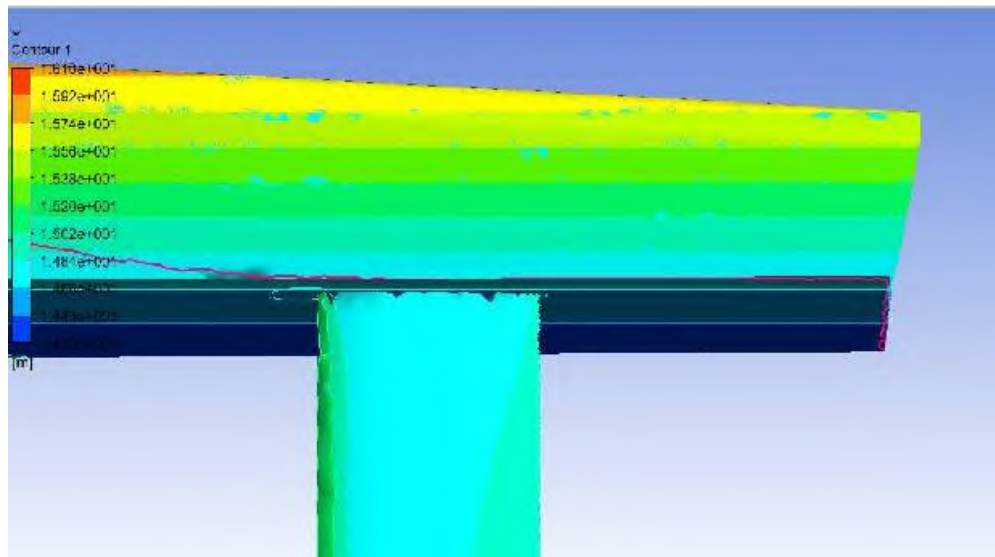
Gambar 5.24. Aliran pada Lambung Kapal Tanpa *Hydrofoil* Pendukung

Pola aliran pada kapal cepat tanpa *hydrofoil* pendukung ditunjukkan pada gambar pada Gambar 5.24. Tinggi maksimal aliran yang melewati lambung kapal cepat di bagian buritan kapal berada disekitar garis sarat kapal. Pola aliran pada kapal cepat tanpa *hydrofoil* pendukung ditunjukkan oleh garis berwarna hitam. Sedangkan kapal cepat *hydrofoil* Model A pada Gambar 5.25, tinggi maksimal aliran yang melewati lambung kapal di bagian buritan kapal berada jauh di bawah sarat kapal. Kapal cepat *hydrofoil* Model B yang ditunjukkan pada Gambar 5.26, tinggi maksimal aliran yang melewati lambung kapal di bagian buritan kapal berada jauh di bawah sarat kapal.



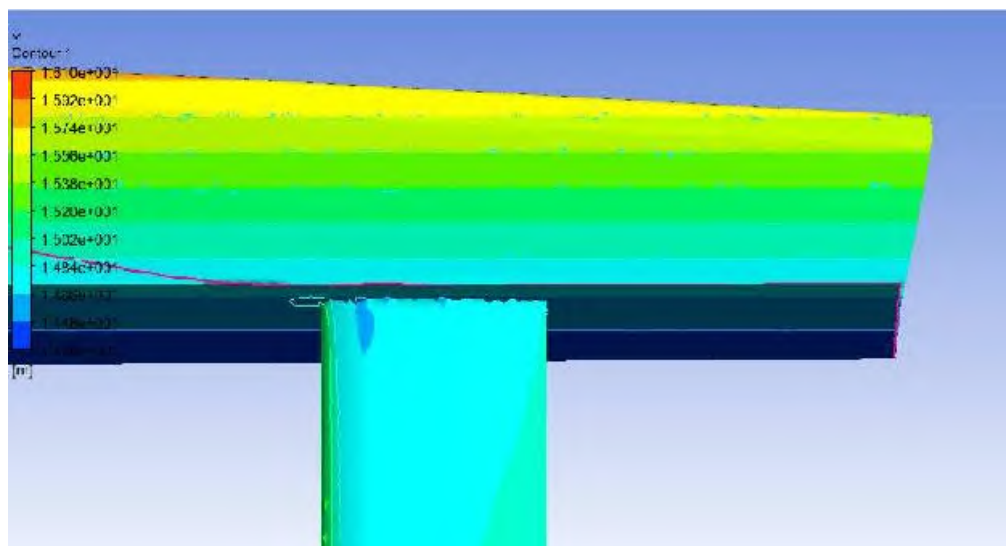
Gambar 5.25. Aliran pada Lambung Kapal Cepat *Hydrofoil* Model A

Kapal cepat *hydrofoil* Model C yang ditunjukkan pada Gambar 5.27, tinggi maksimal aliran yang melewati lambung kapal di bagian buritan kapal berada jauh di bawah sarat kapal. Pola aliran pada kapal cepat tanpa *hydrofoil* pendukung ditunjukkan oleh garis berwarna merah.



Gambar 5.26. Aliran pada Lambung Kapal Cepat *Hydrofoil* Model B

Visualisasi aliran pada lambung kapal cepat tanpa *hydrofoil* pendukung (Gambar 5.24) dan kapal cepat dengan *hydrofoil* pendukung (Gambar 5.25, 5.26, 5.27) menunjukkan bahwa tinggi aliran pada lambung kapal cepat *hydrofoil* lebih rendah terhadap sarat kapal dibandingkan dengan kapal cepat tanpa *hydrofoil* pendukung.

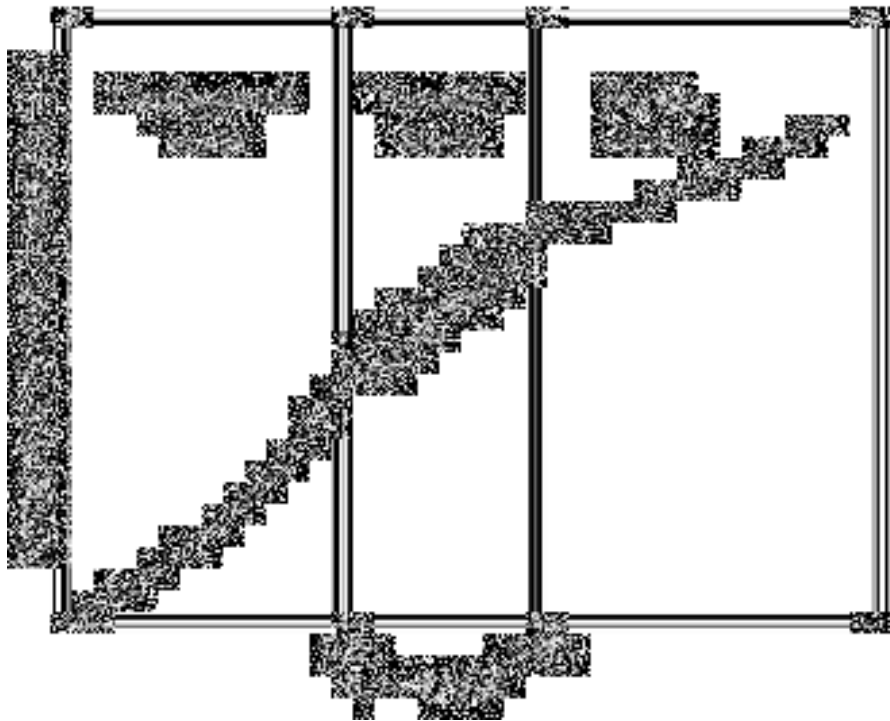


Gambar 5.27. Aliran pada Lambung Kapal Cepat *Hydrofoil* Model C



#### 5.2.2.4 Hump Region

Hasil pengujian kapal cepat *hydrofoil* (Gambar 5.17, 5.18, 5.23) menunjukkan bahwa terjadi hump region diantara *froude number* 0,9 dan 1,1. Fenomena hump region (Gambar 5.28) terjadi pada kapal cepat dengan bentuk lambung tipe *planning hull* diantara *froude number* 0,5 dan 0,85 yang merupakan fase perpindahan dari mode displacement ke mode *planning*, atau disebut juga semi *planning* (Yousefi R.,2013).



Gambar 5.28 Mode Gerak Kapal Cepat *Planning Hull*  
(Yousefi R., 2013)

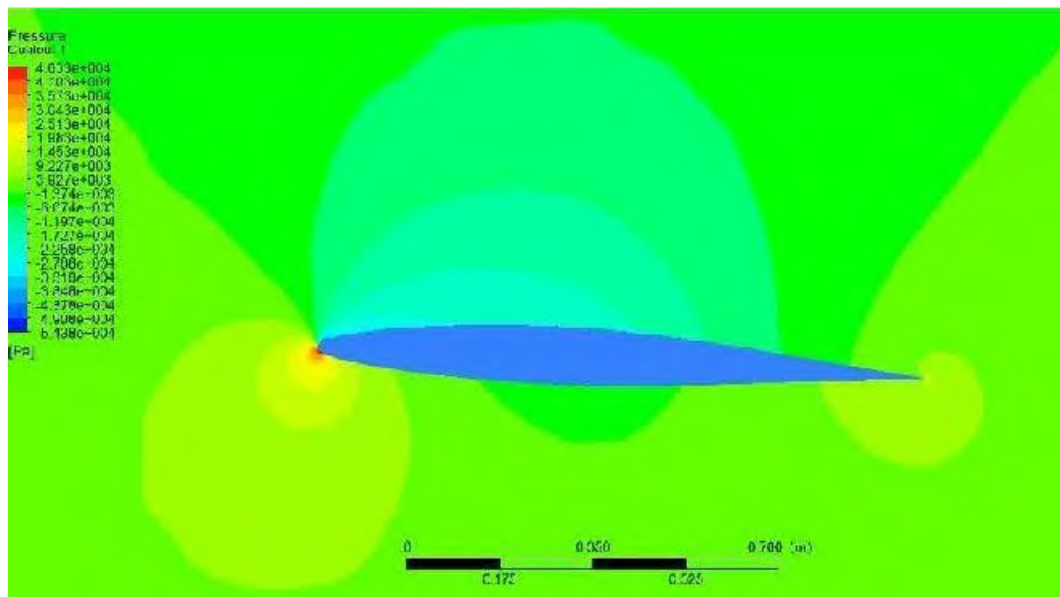
Pada Gambar 5.17, 5.18, dan 5.23 menunjukkan bahwa hump region tidak hanya terjadi pada grafik tahanan kapal sebagai fungsi dari kecepatan (*froude number*) seperti pada Gambar 5.28, tetapi juga terjadi pada grafik *lift force* sebagai fungsi dari kecepatan (*froude number*). Pada kapal cepat *hydrofoil* berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan CFD, fenomena hump region terjadi di antara *froude number* 0,9 dan 1,1. Berbeda dengan kapal cepat tanpa *hydrofoil* yang terjadi

diantara *froude number* 0,5 dan 0,85 yang merupakan fase perpindahan dari mode displacement ke mode *planning* (Yousefi R.,2013). Tetapi fenomena hump region ini hanya terjadi pada kapal Model C, yaitu kapal cepat *hydrofoil* dengna posisi *foil* belakang lebih dalam dari pada *foil* depan. Pada kapal Model A dan Model B hump region tidak terjadi.

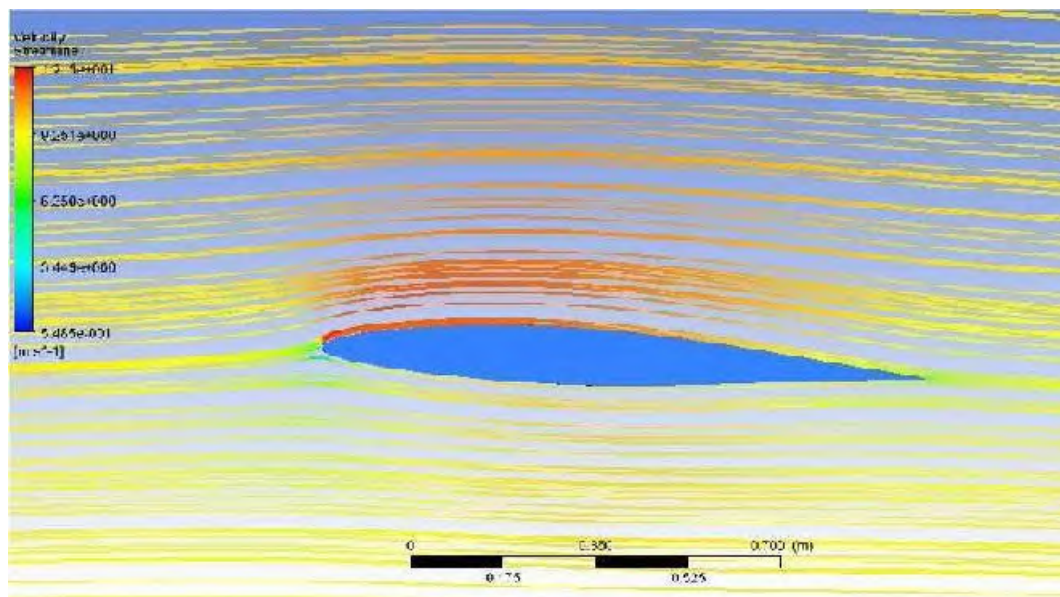
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **LAMPIRAN THESIS**

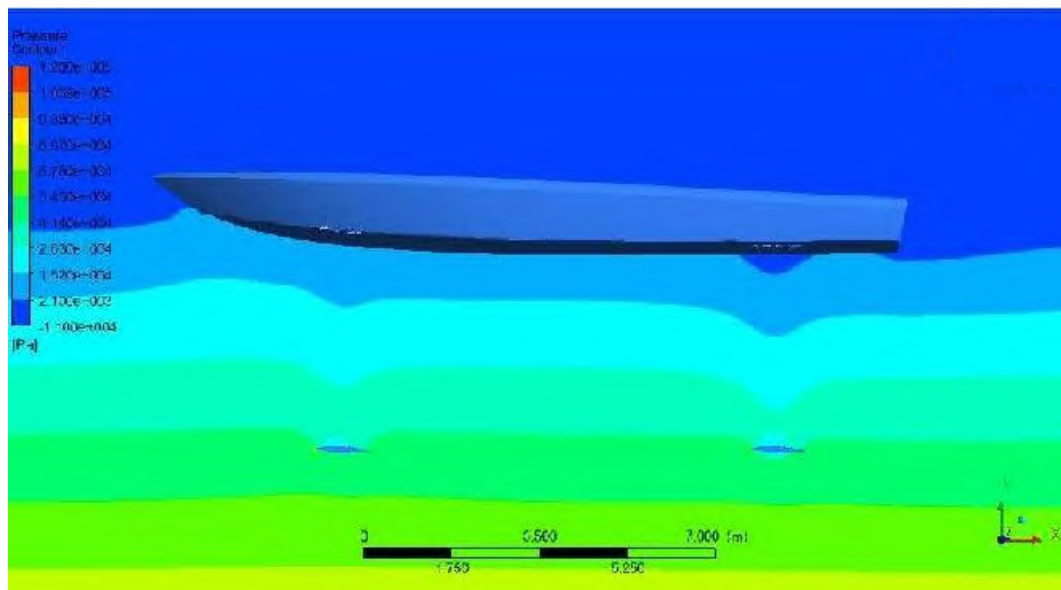
**Studi Variasi Perletakan *Foil* Belakang di Arah Vertikal dan Sudut Serang Untuk Meningkatkan Gaya Angkat dan Mengurangi Hambatan Kapal *Hydrofoil***



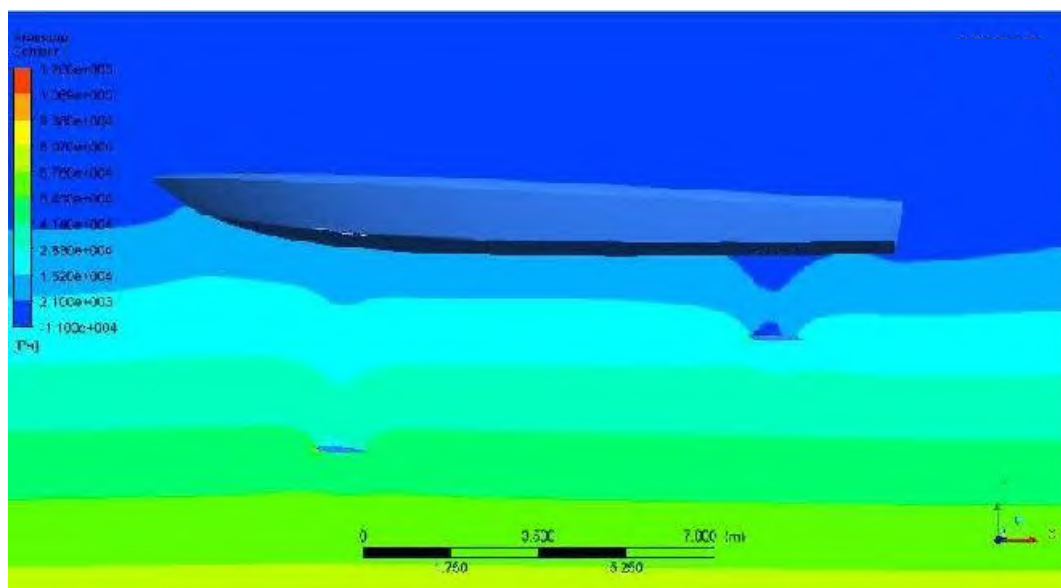
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model F *Span* 5 M *Chord* 1,14



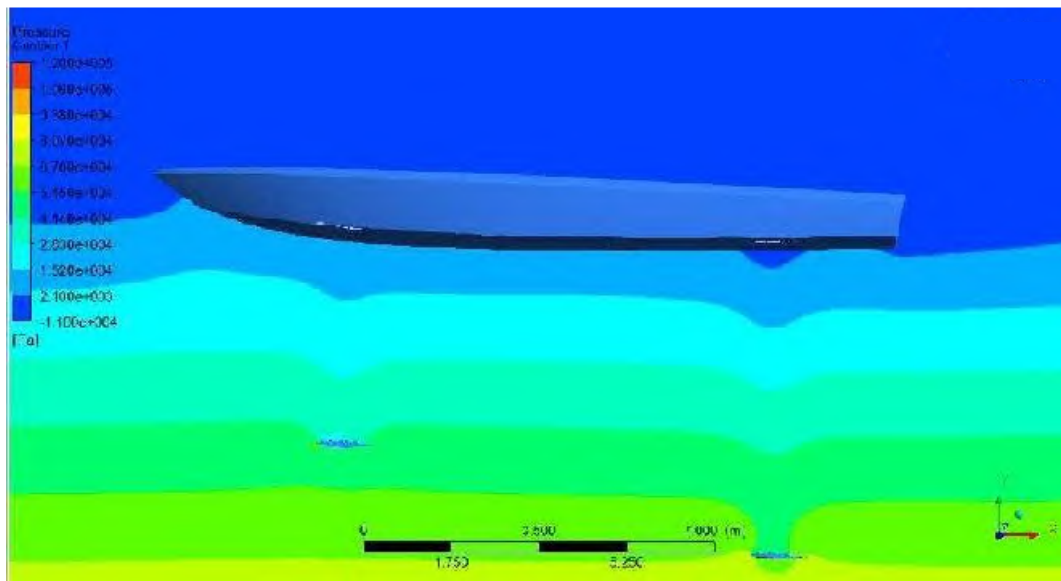
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model F *Span* 5 M *Chord* 1,14



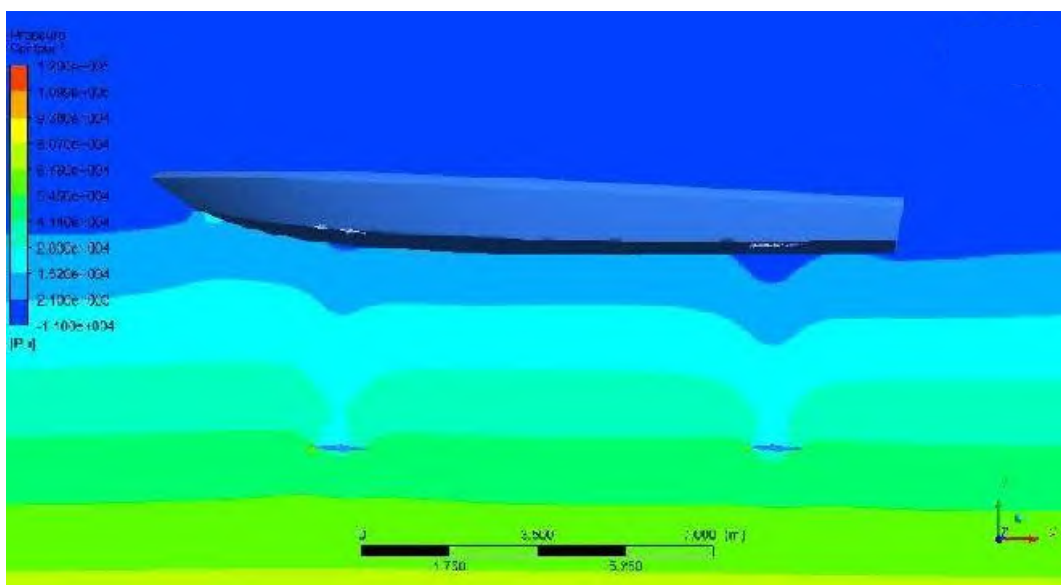
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model A ( $F_n=0,8$ )



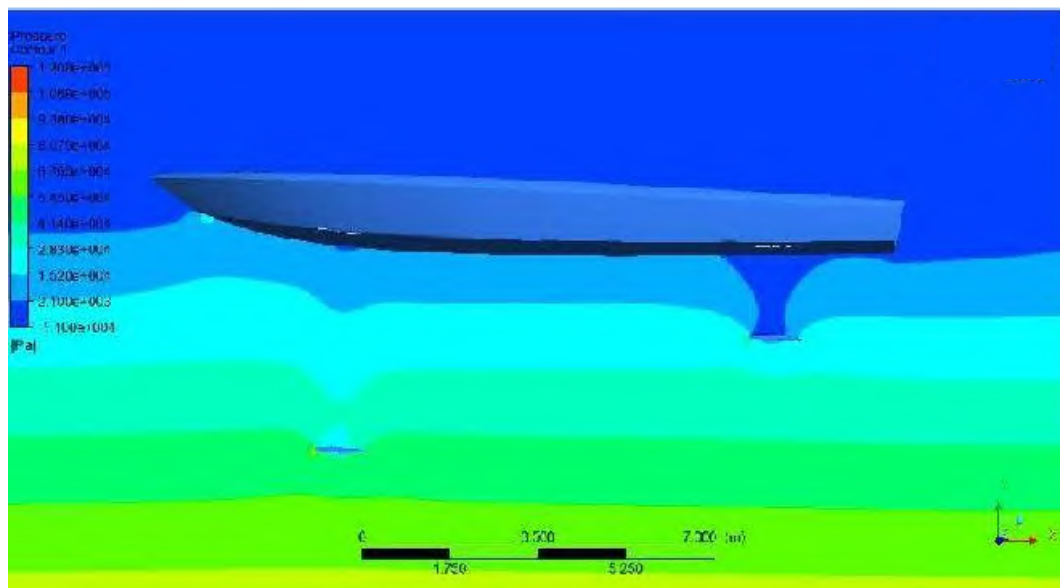
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model B ( $F_n=0,8$ )



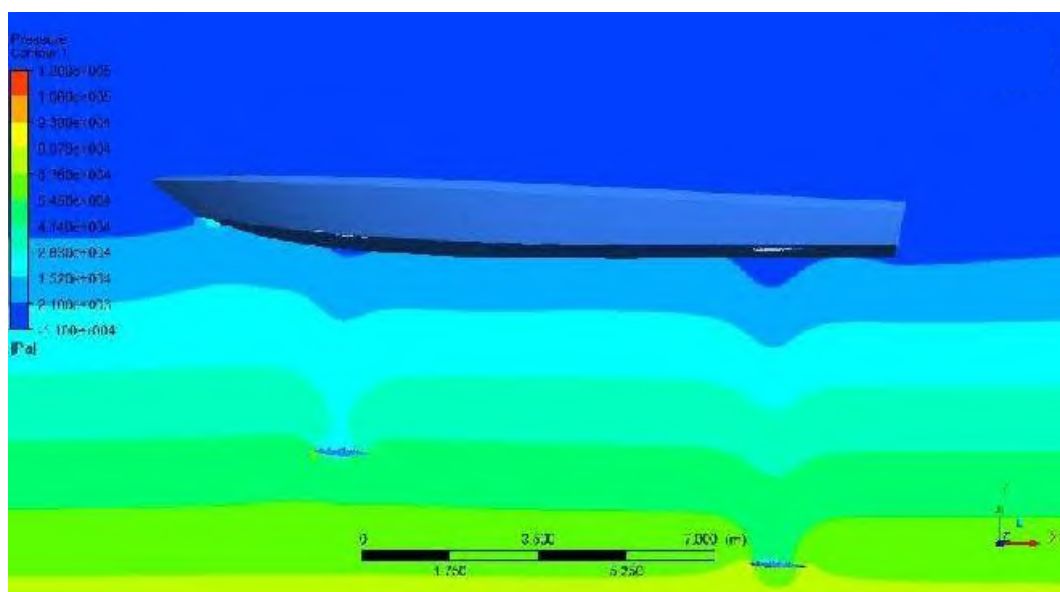
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model C ( $F_n=0,8$ )



Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model A ( $F_n=0,9$ )

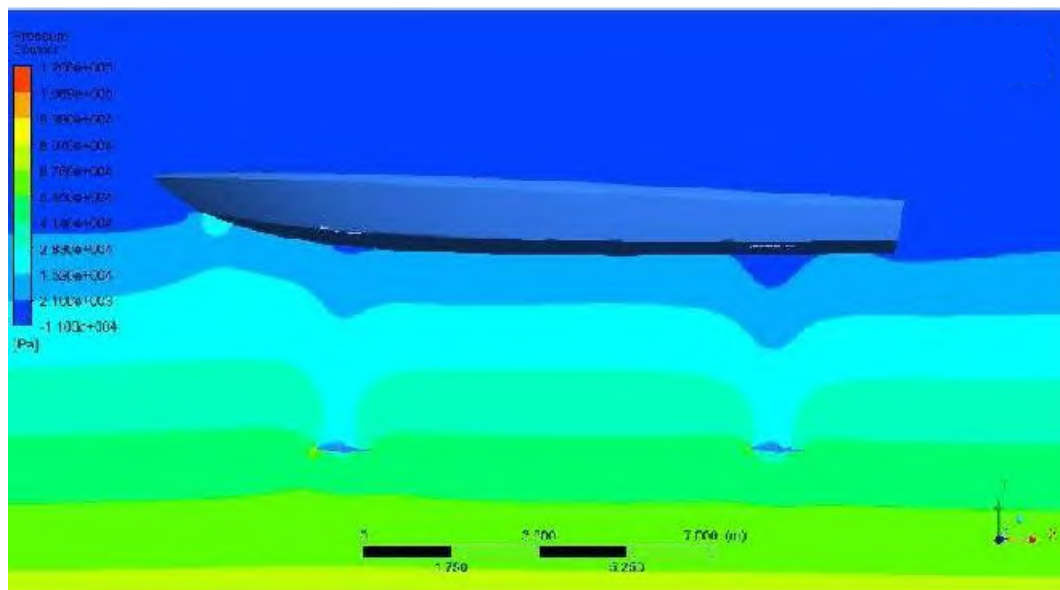


Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model B ( $F_n=0.9$ )

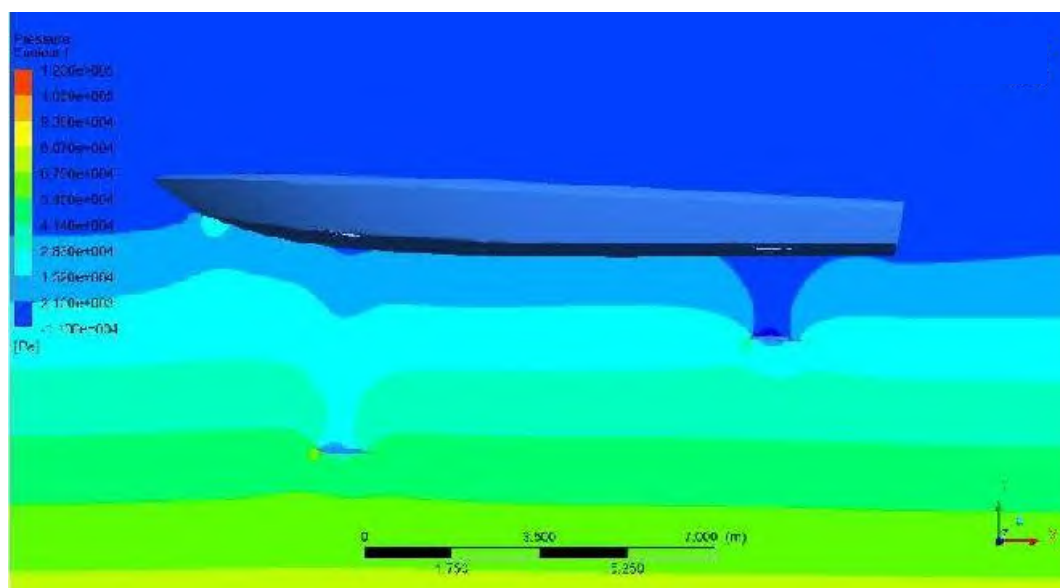


Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model C ( $F_n=0.9$ )

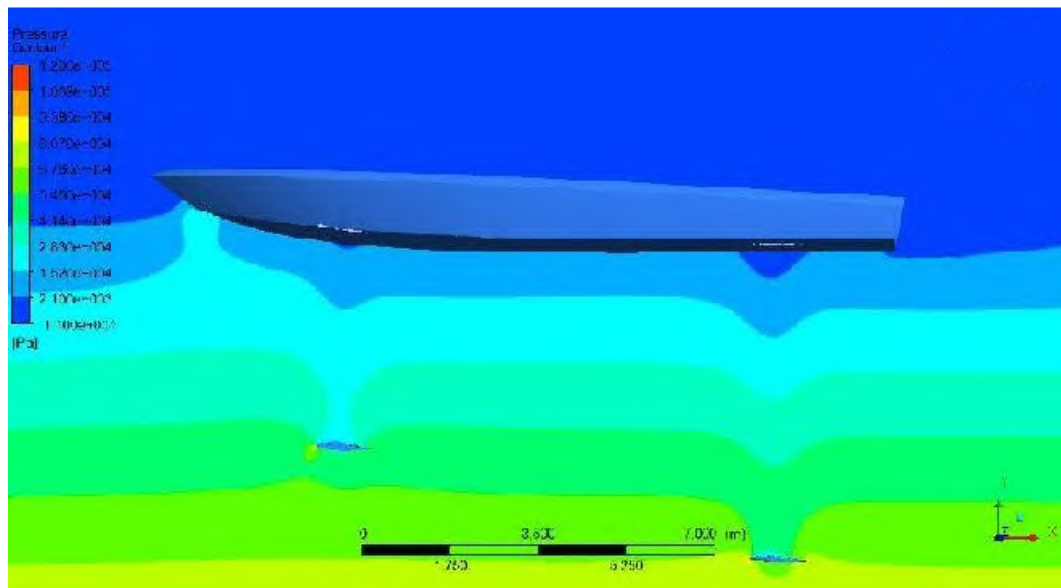




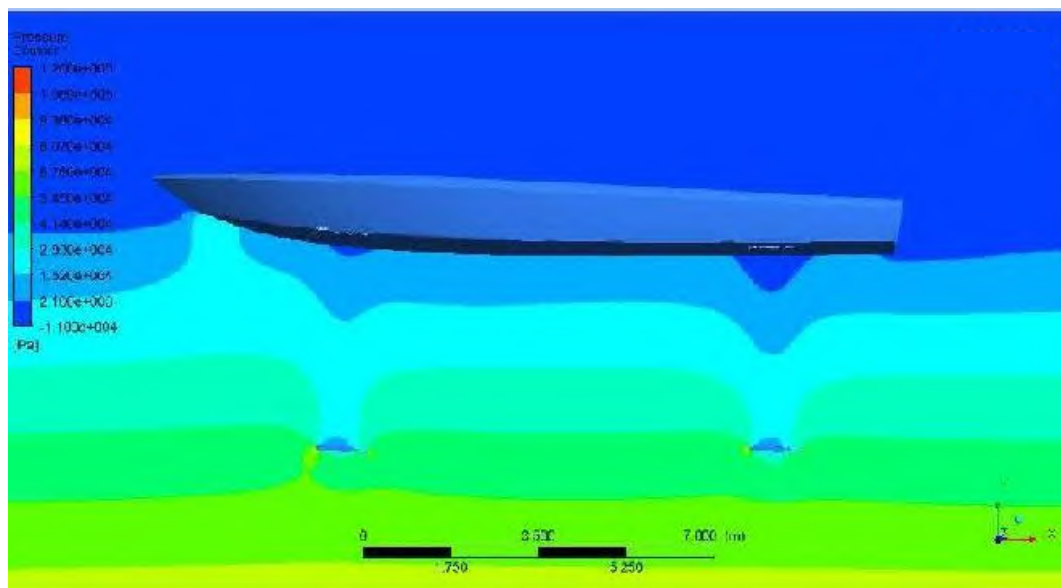
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model A ( $F_n=1,0$ )



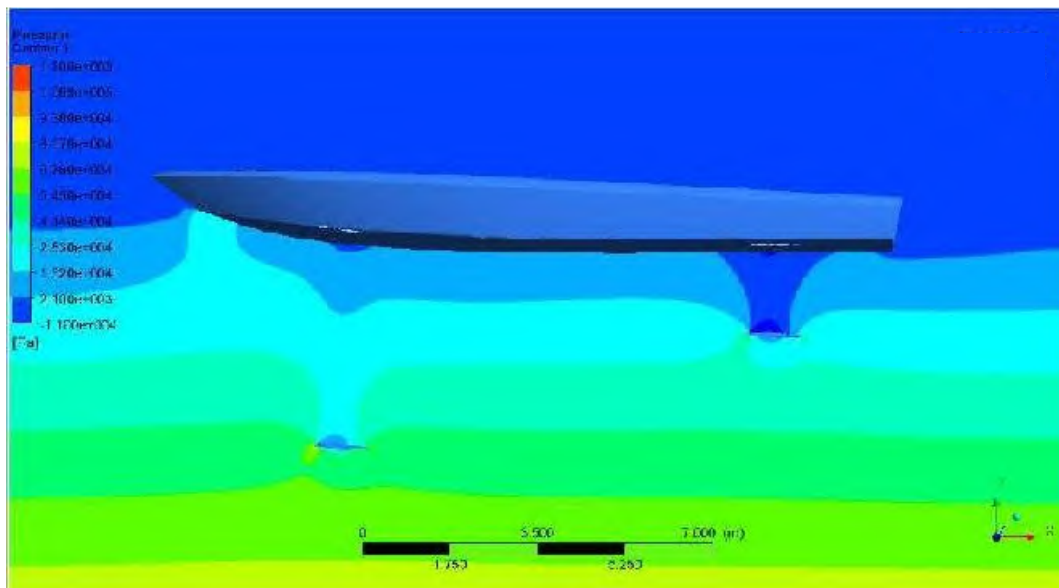
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model B ( $F_n=1,0$ )



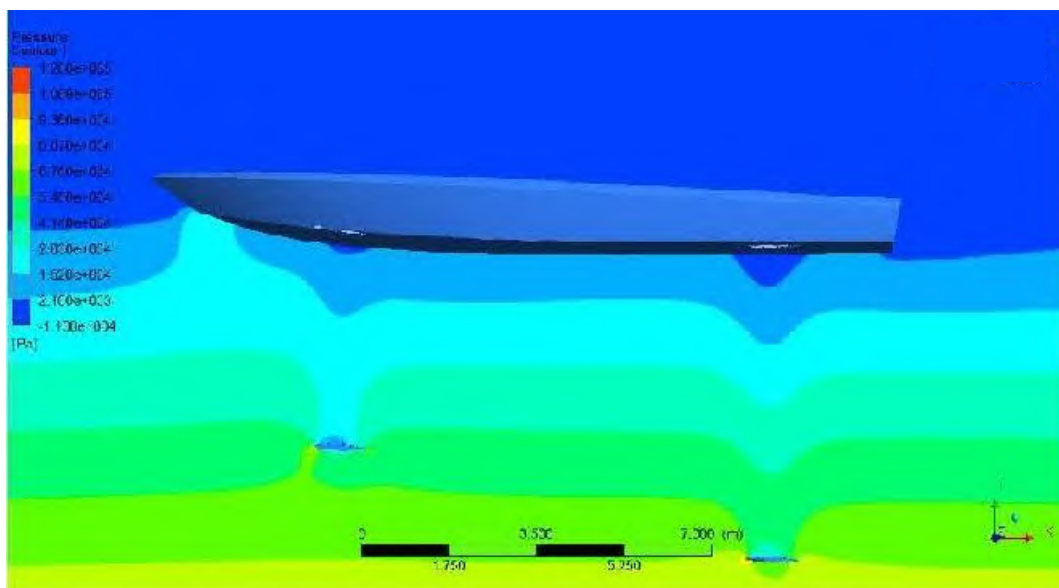
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model C ( $F_n=1,0$ )



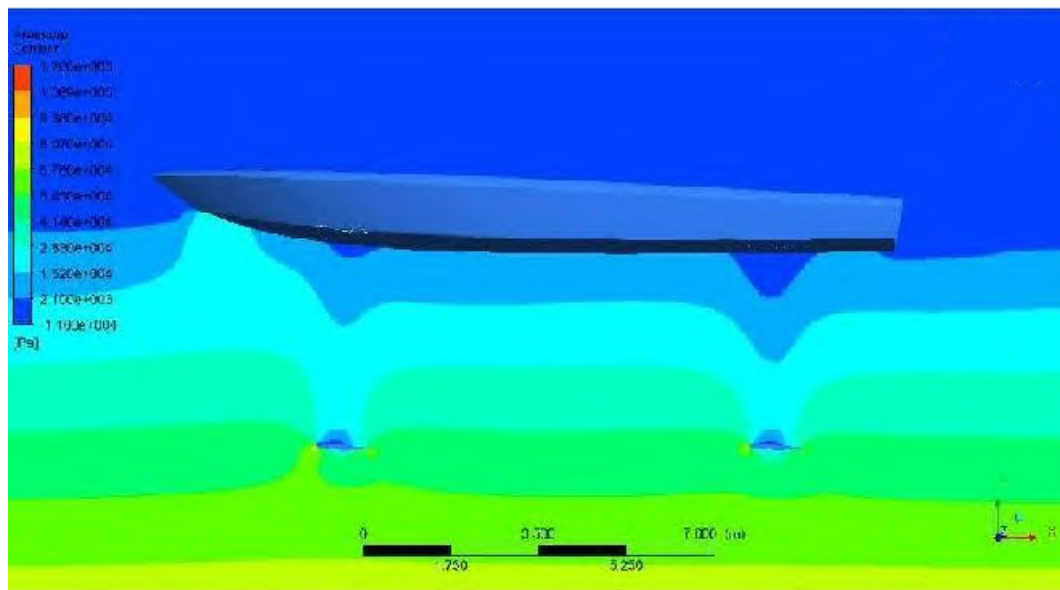
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model A ( $F_n=1,1$ )



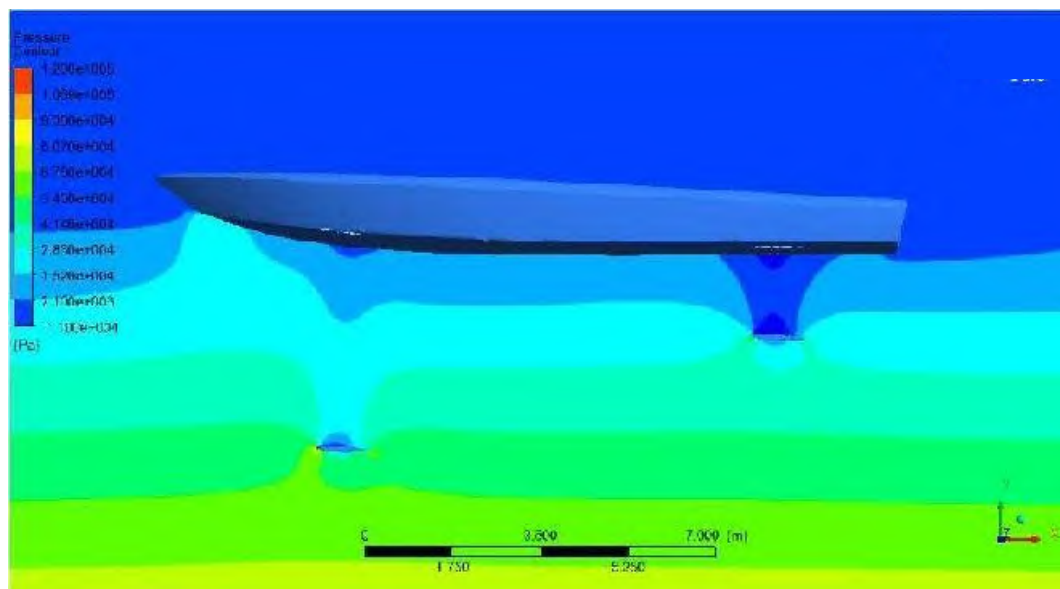
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model B ( $F_n=1,1$ )



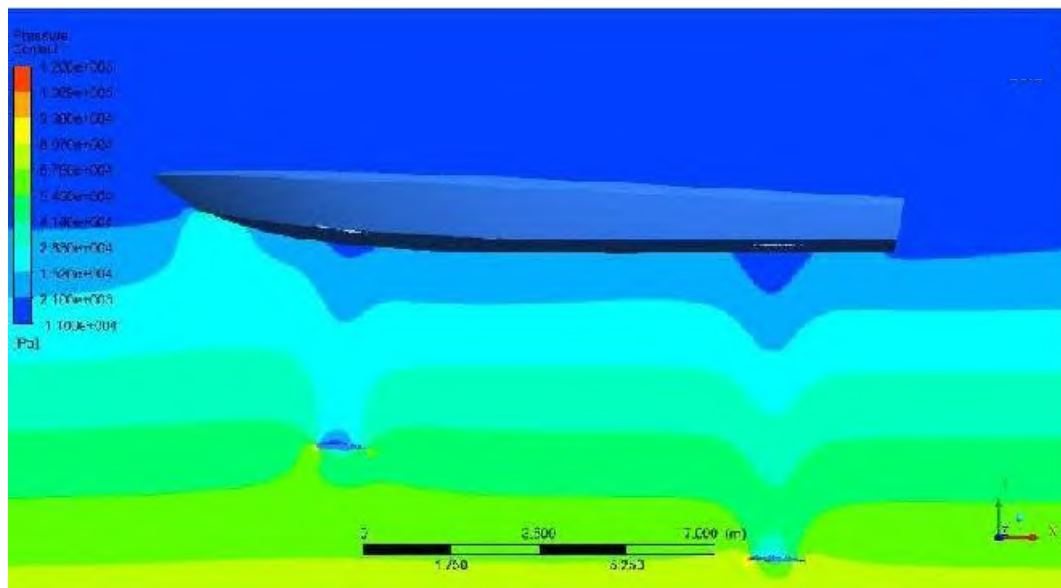
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model C ( $F_n=1,1$ )



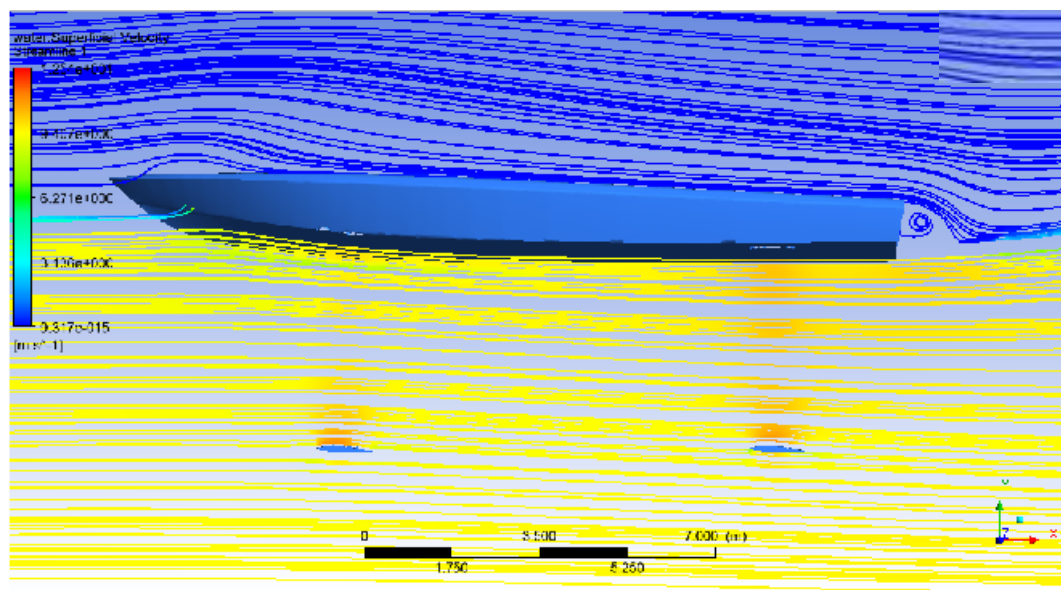
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model A ( $F_n=1,2$ )



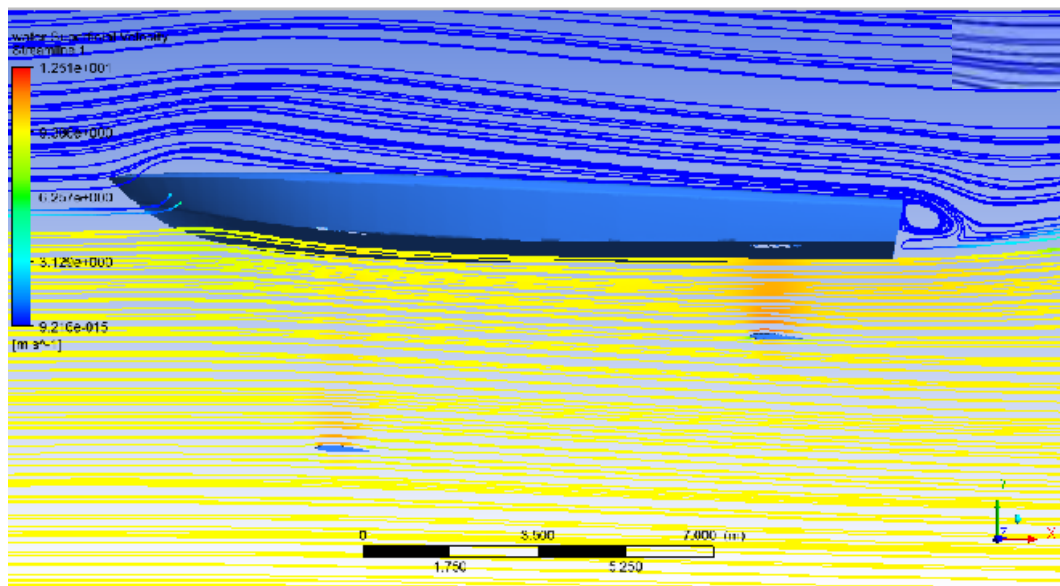
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model B ( $F_n=1,2$ )



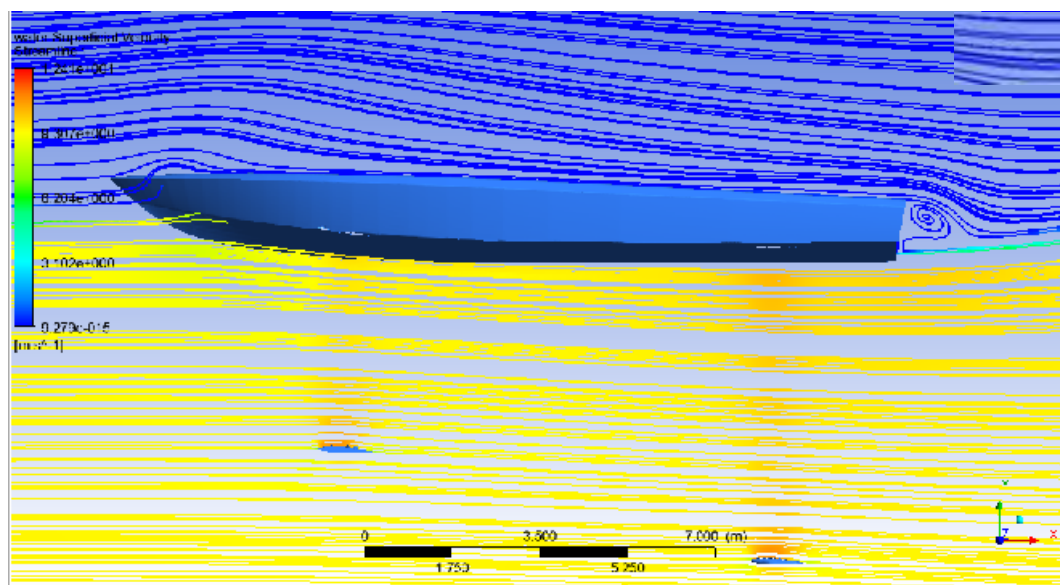
Kontur Perbedaan *Pressure* pada Model C ( $Fn=1,2$ )



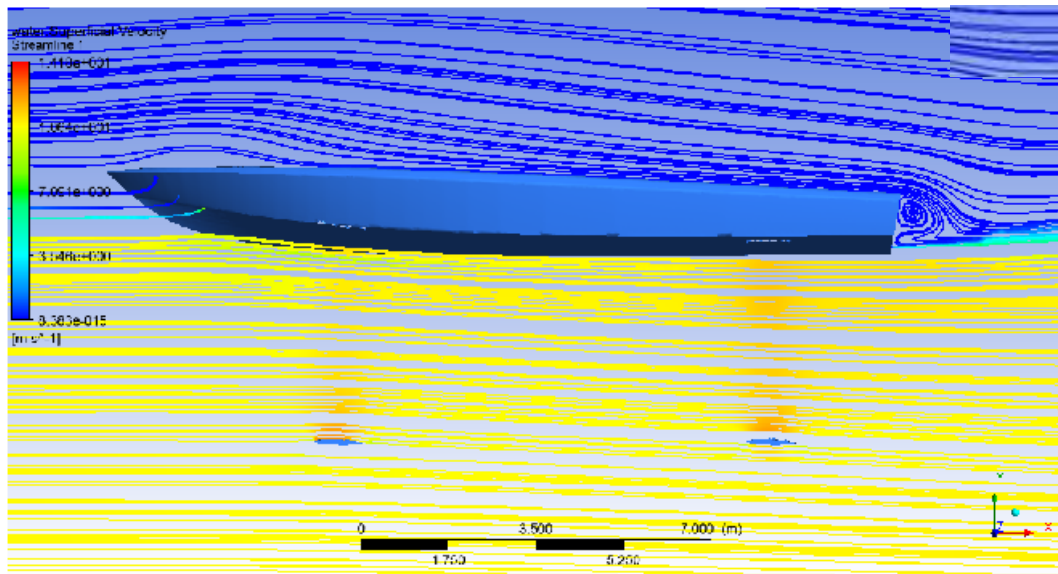
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model A ( $Fn=0,8$ )



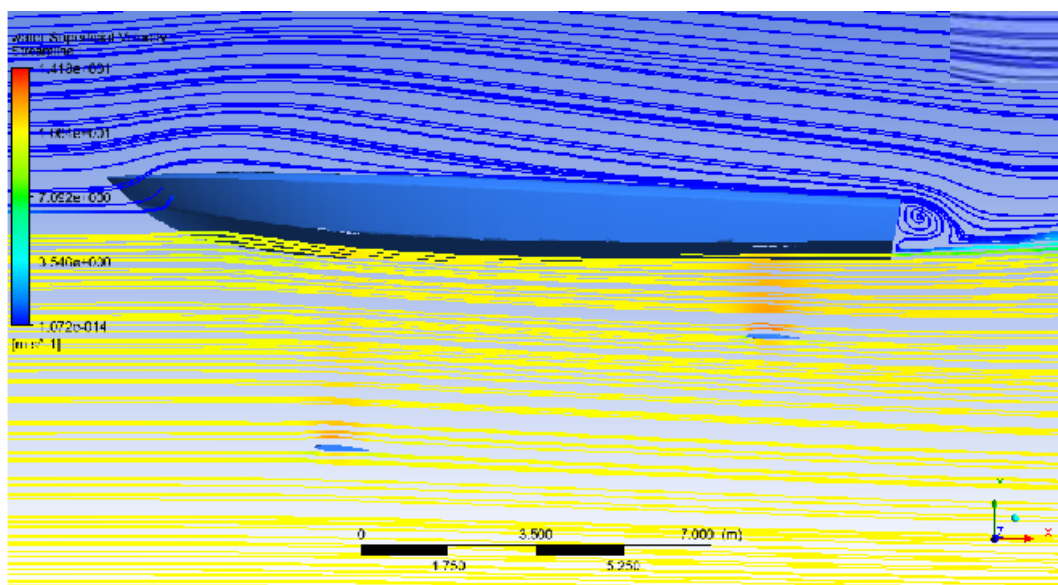
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model B ( $Fn=0,8$ )



Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model C ( $Fn=0,8$ )

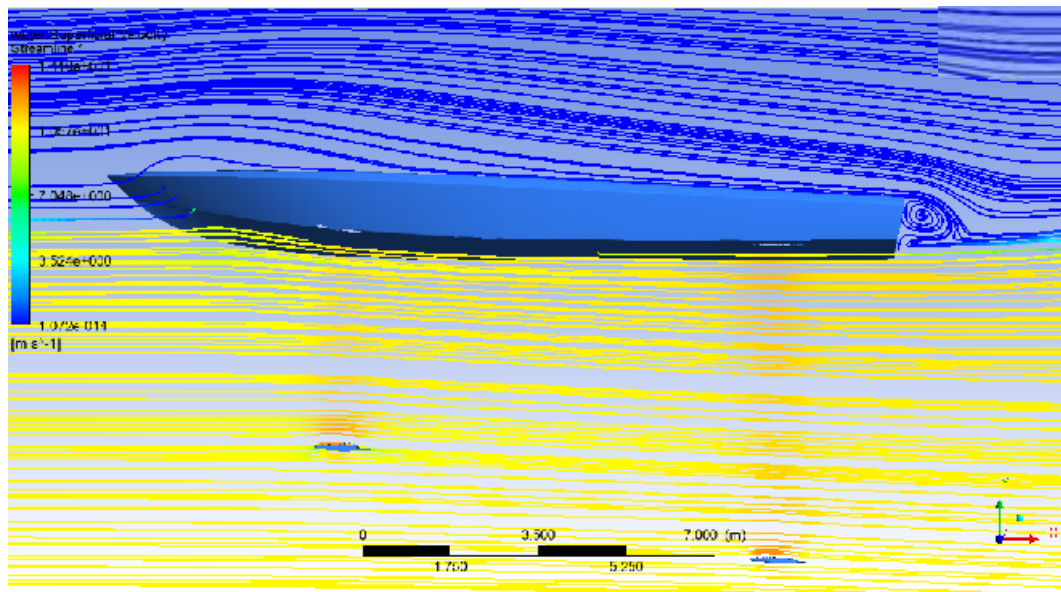


Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model A (Fn-0,9)

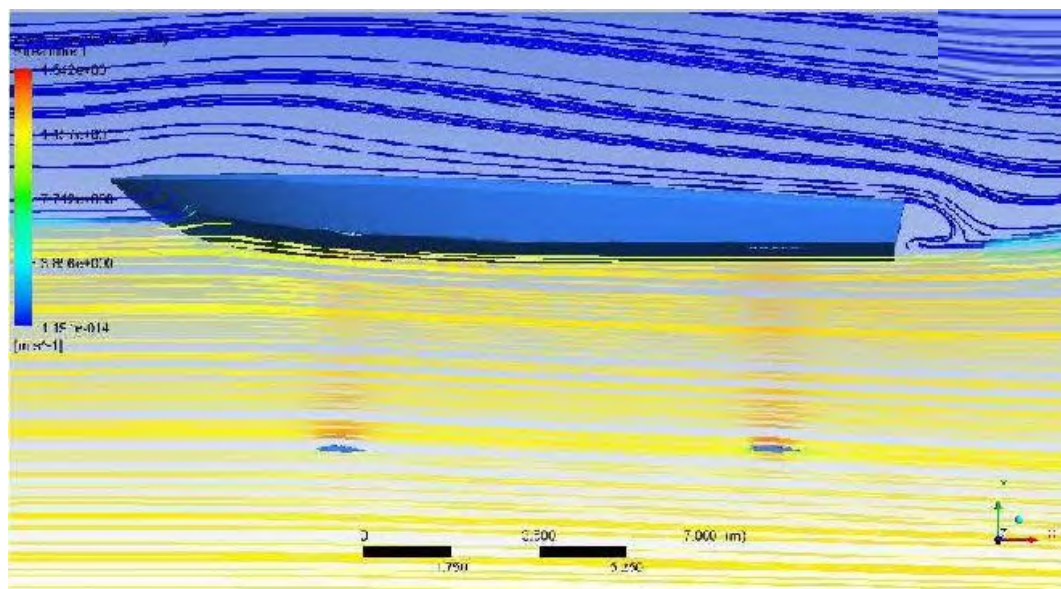


Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model B (Fn-0,9)



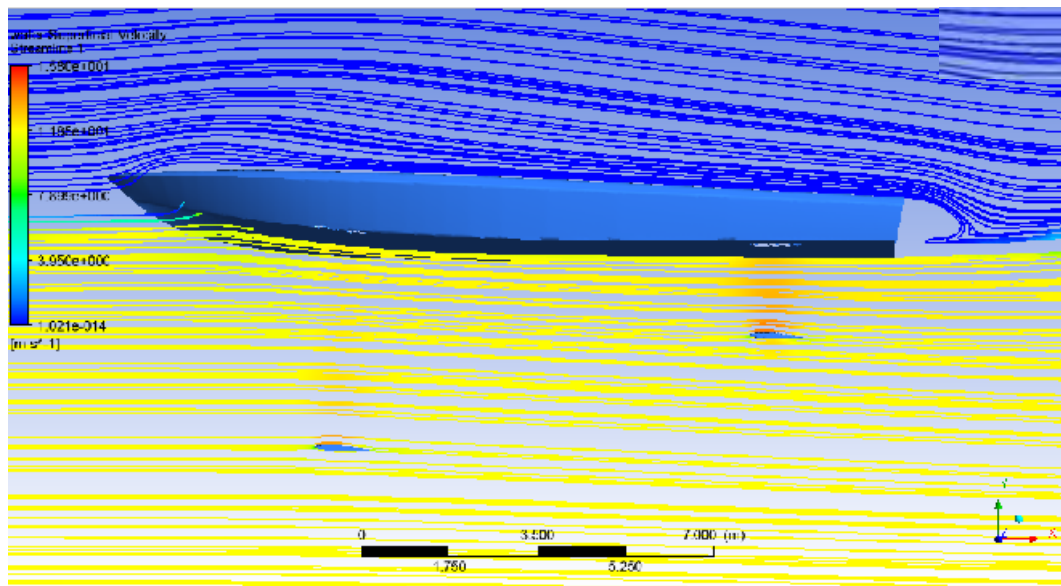


Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model C (Fn-0,9)

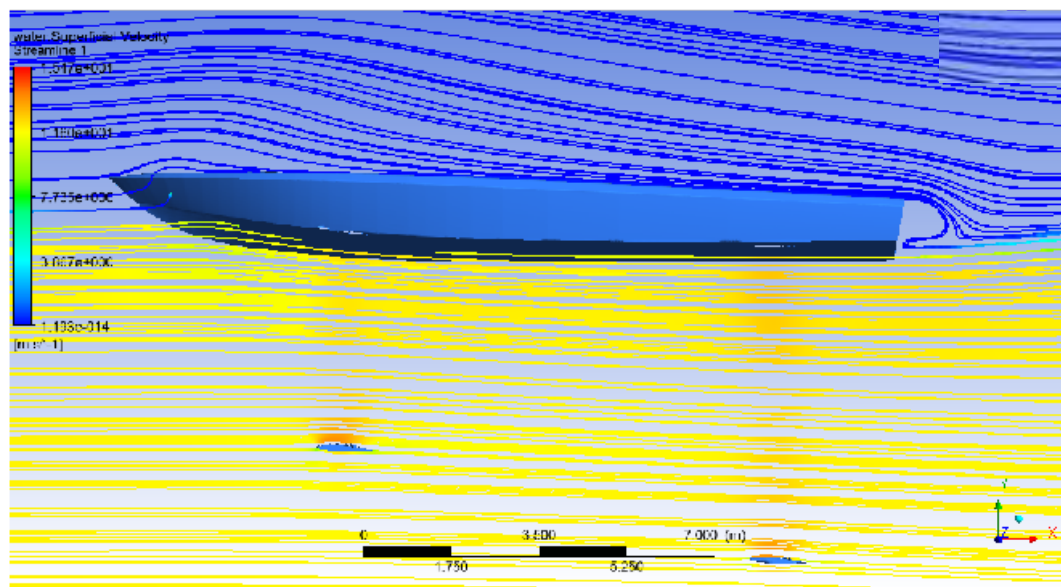


Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model A (Fn-1,0)

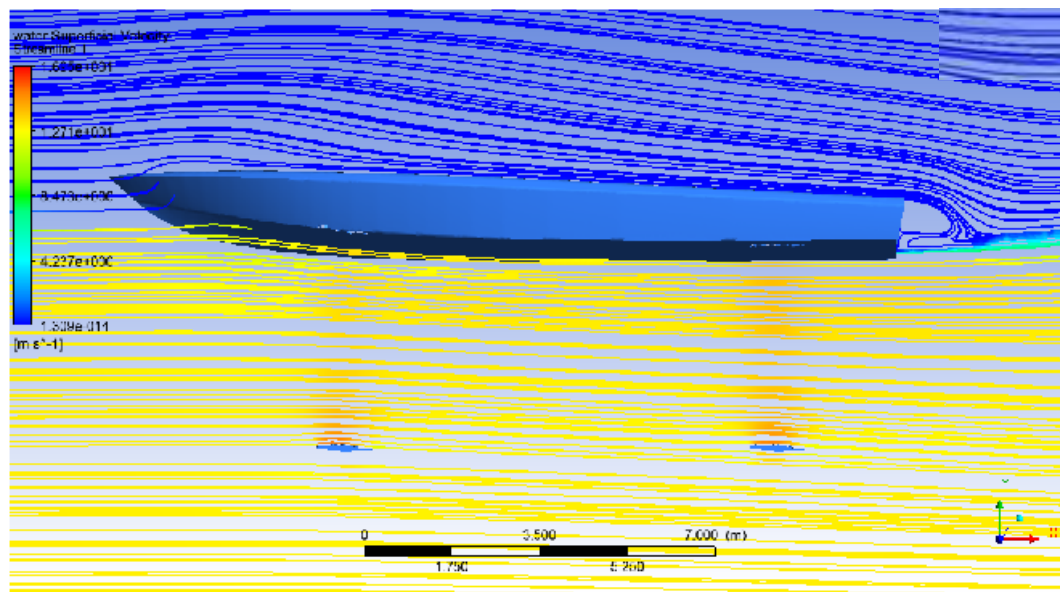




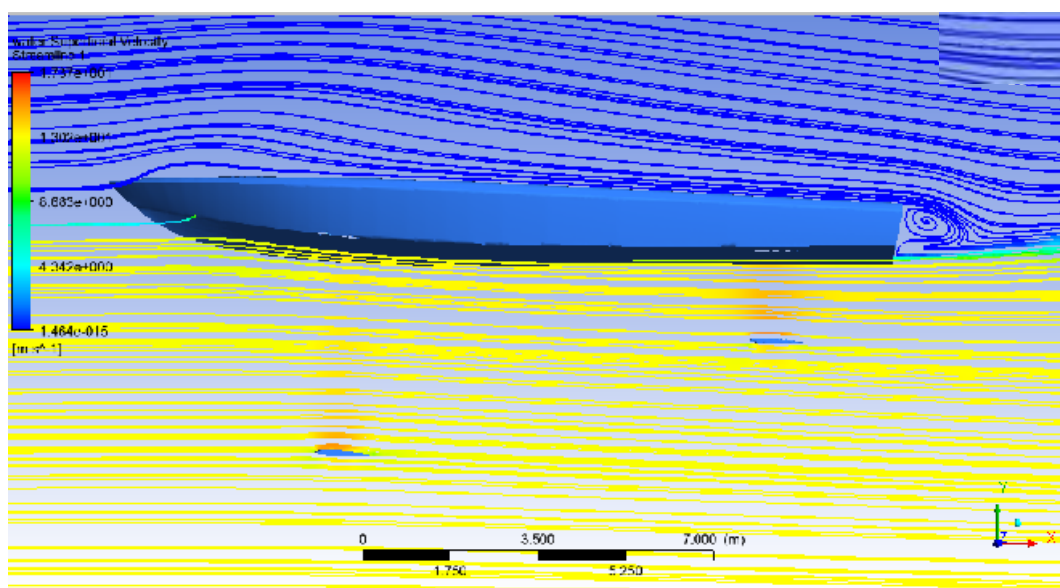
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model B ( $\text{Fn}=1,0$ )



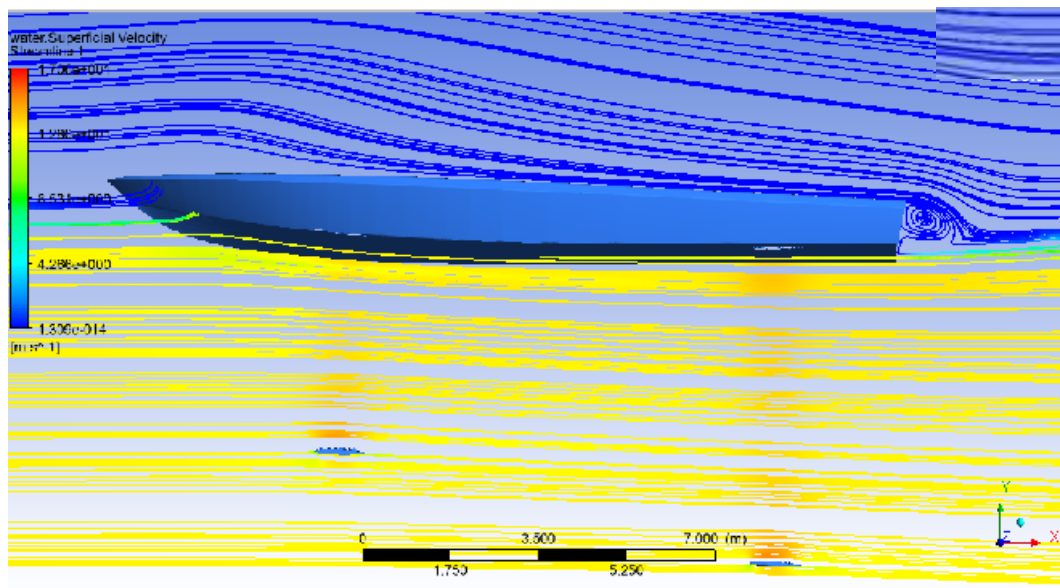
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model C ( $\text{Fn}=1,0$ )



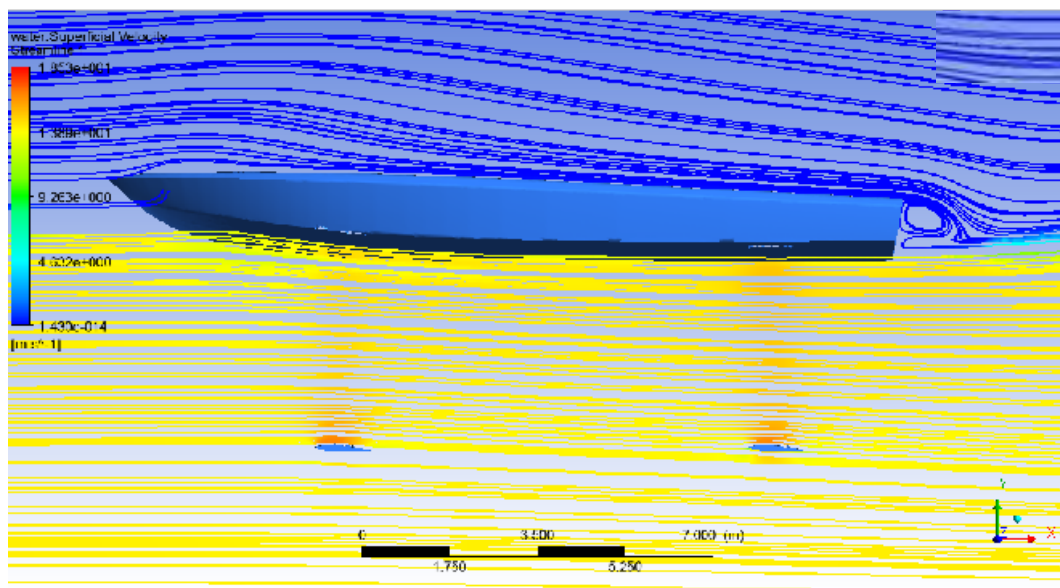
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model A (Fn-1,1)



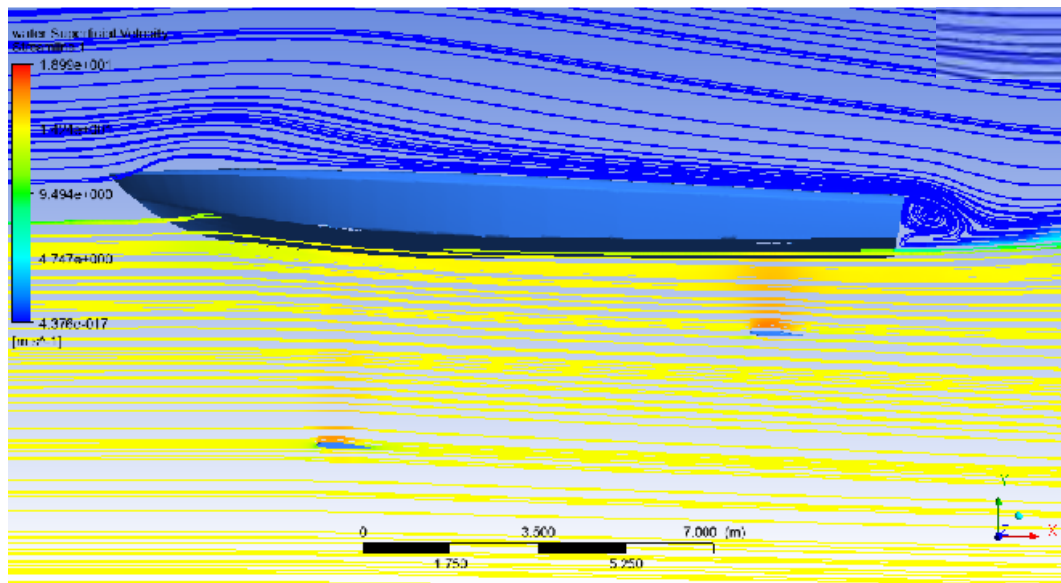
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model B (Fn-1,1)



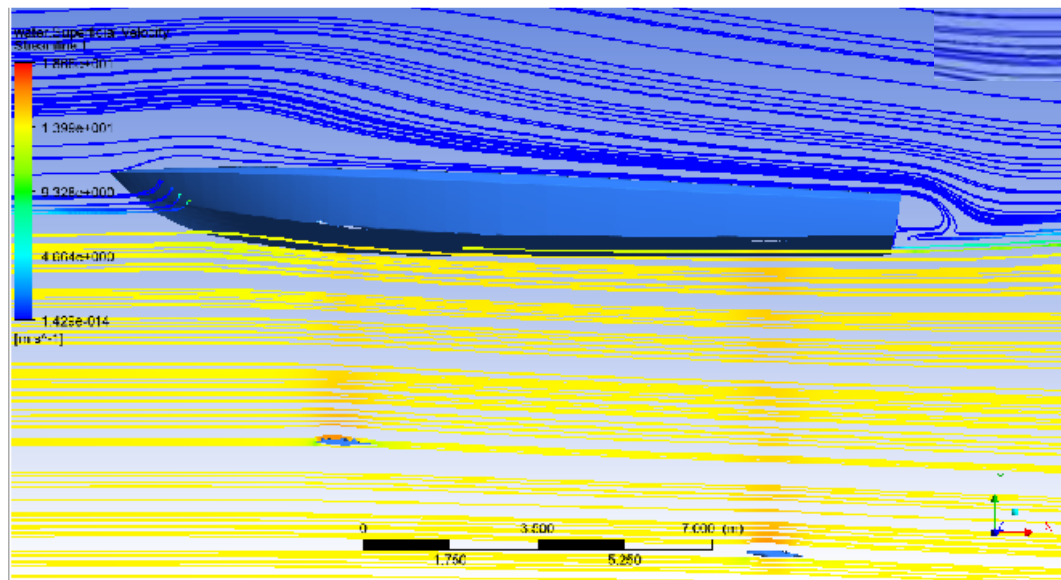
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model C (Fn-1,1)



Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model A (Fn-1,2)

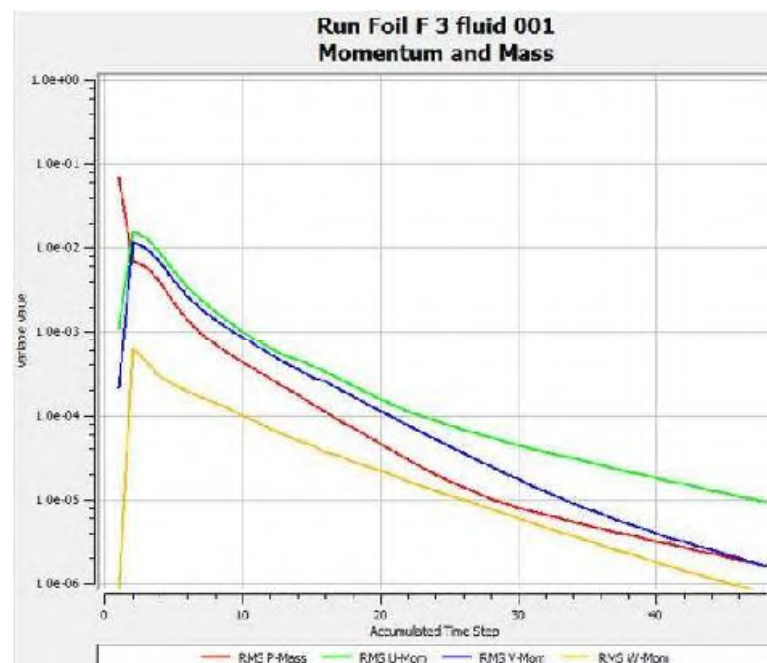
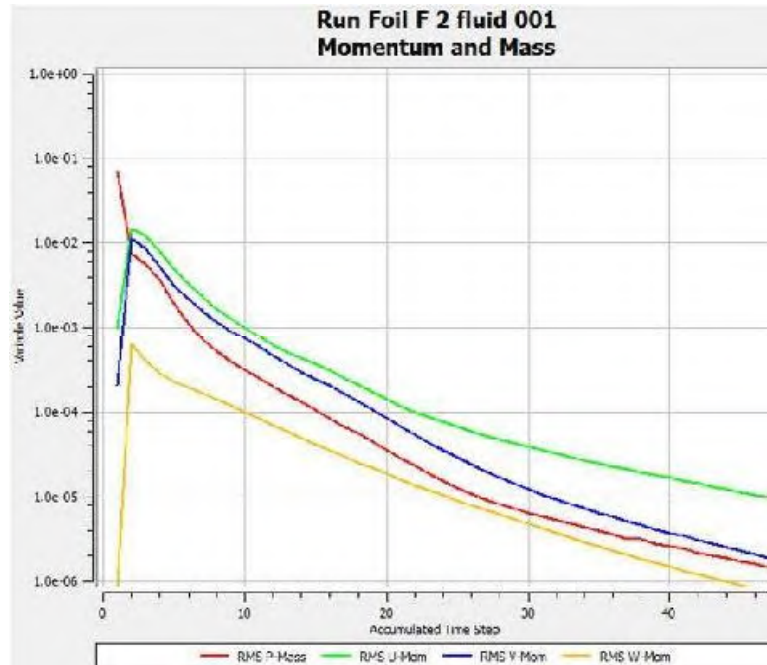


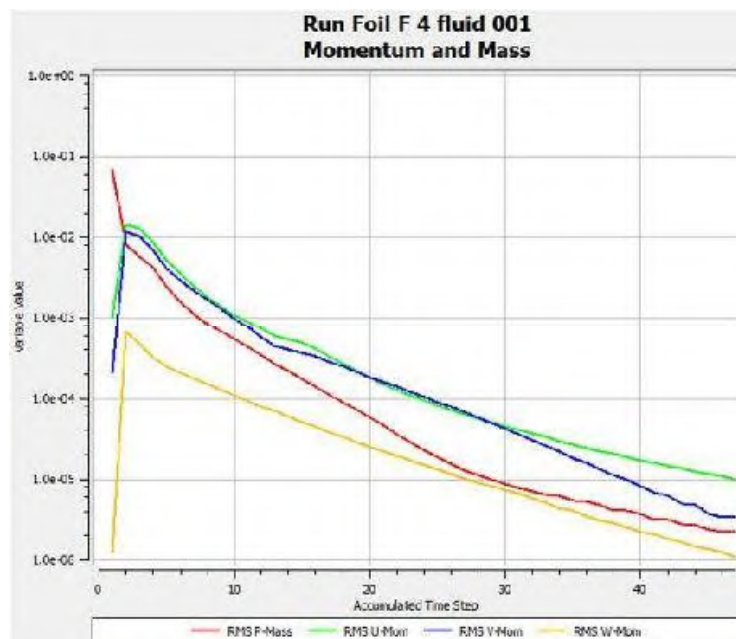
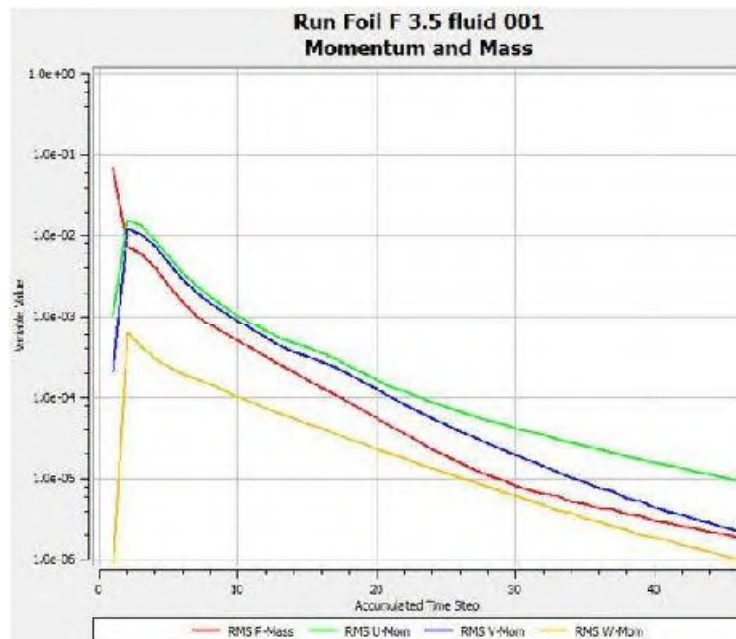
Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model B (Fn-1,2)

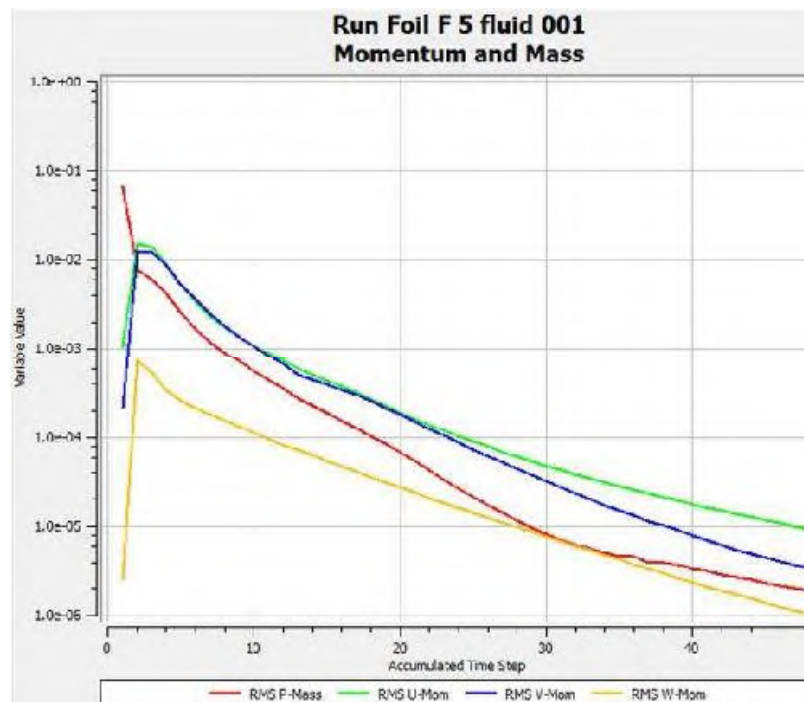


Kontur *Streamline* Perbedaan Kecepatan pada Model C (Fn-1,2)

## KONVERGENSI *FOIL F*



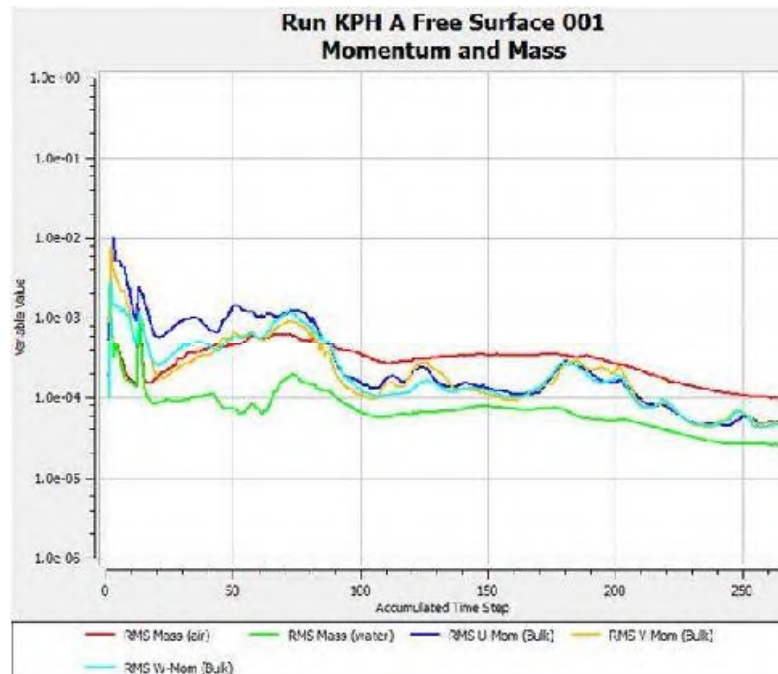




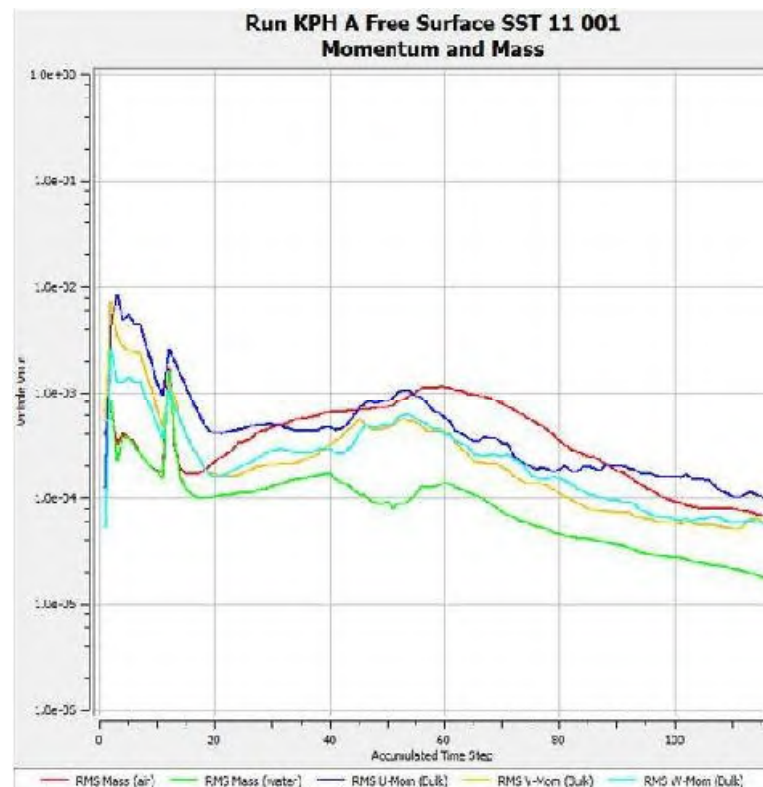
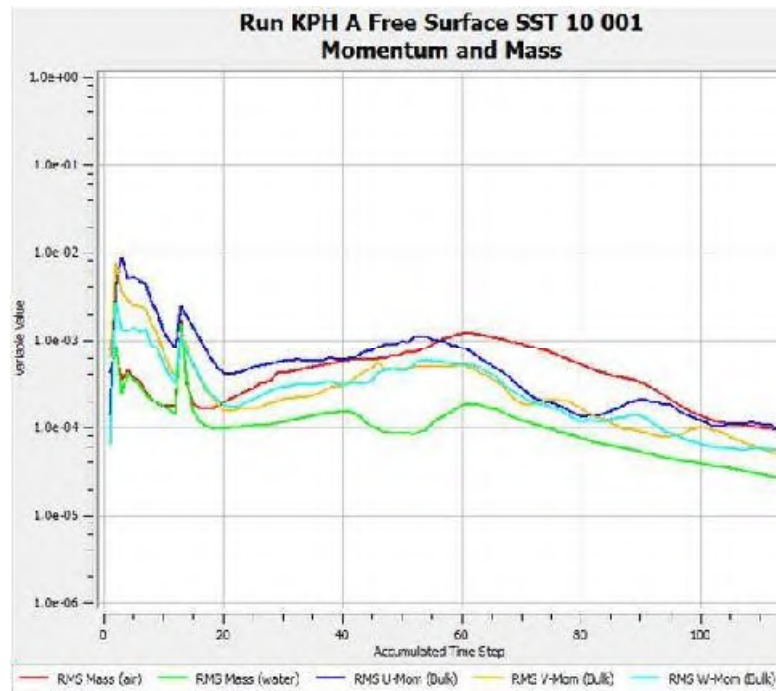


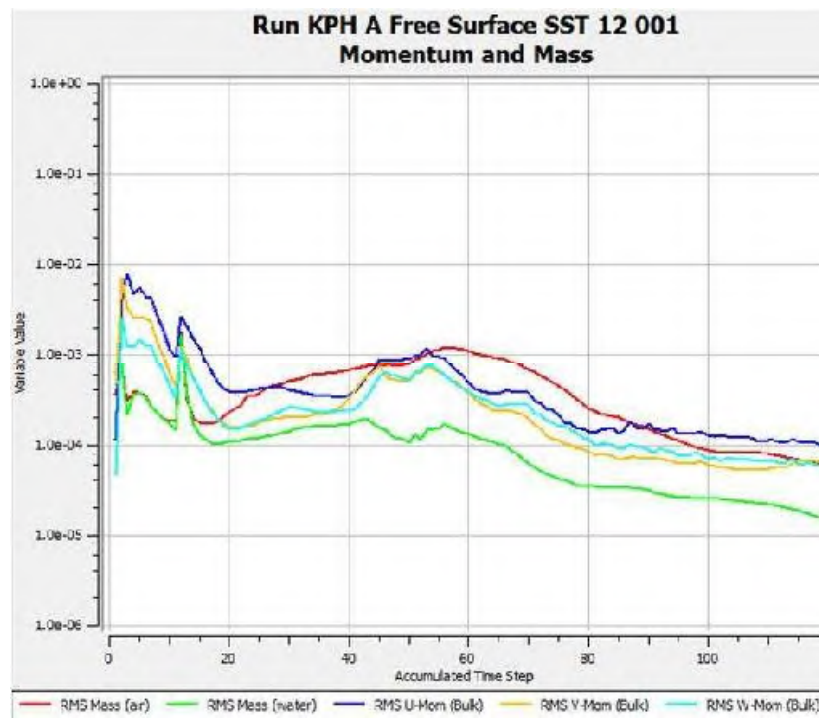
# KONFERGENSI KAPAL CEPAT *HYDROFOIL*

## MODEL A



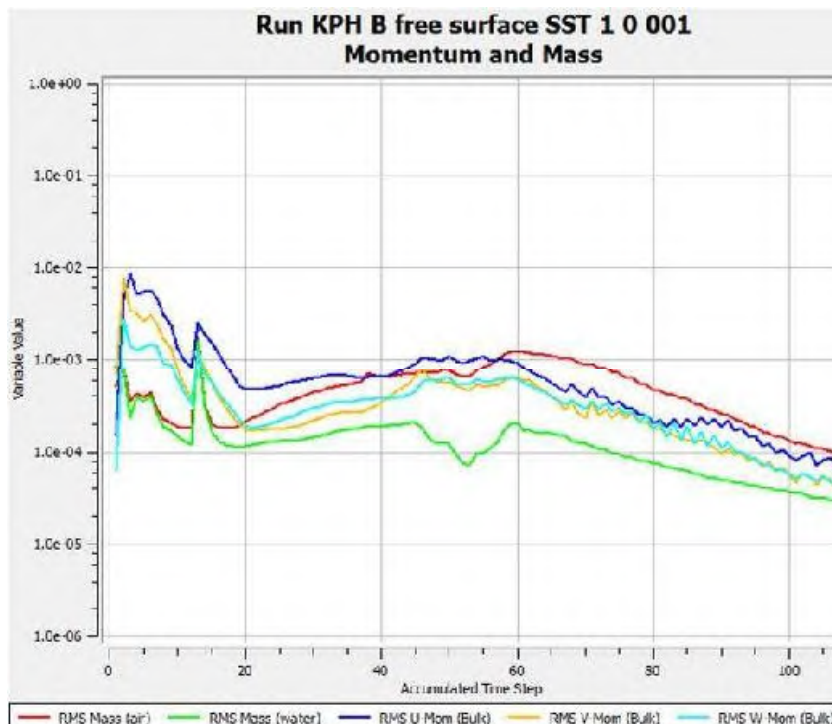
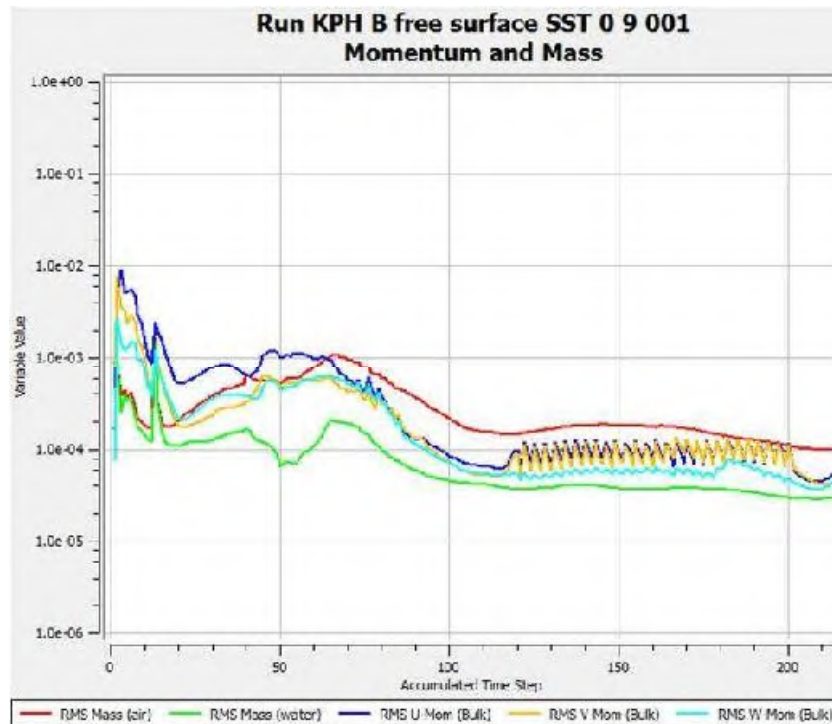


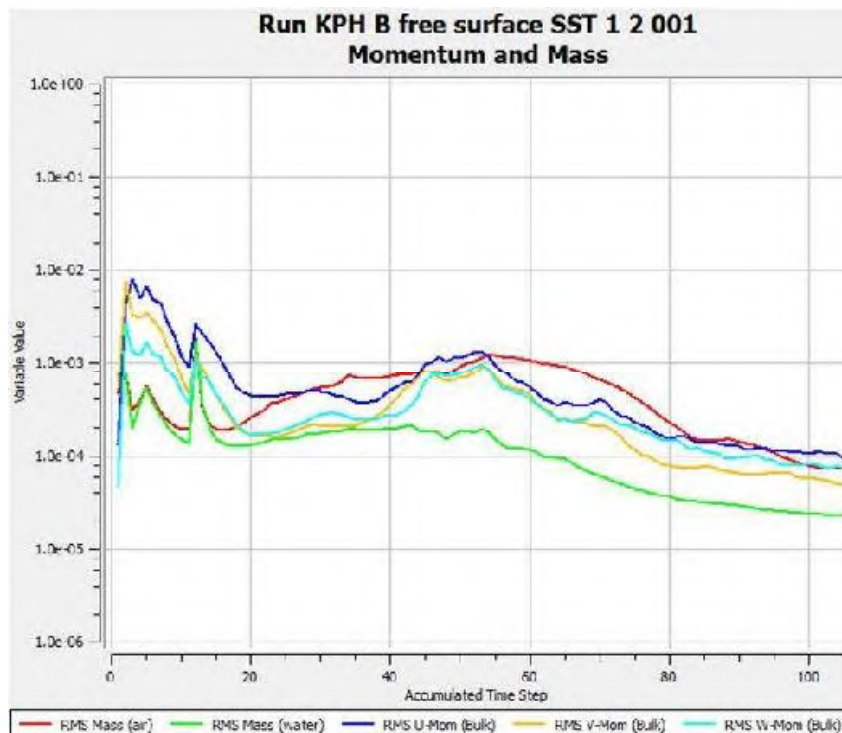
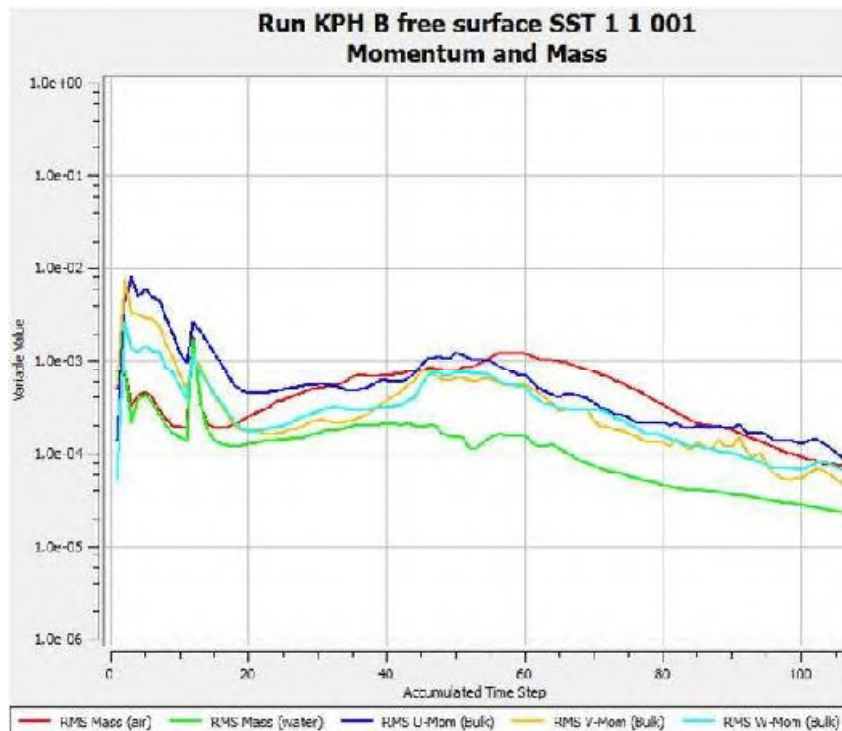




# KONFERGENSI KAPAL CEPAT *HYDROFOIL*

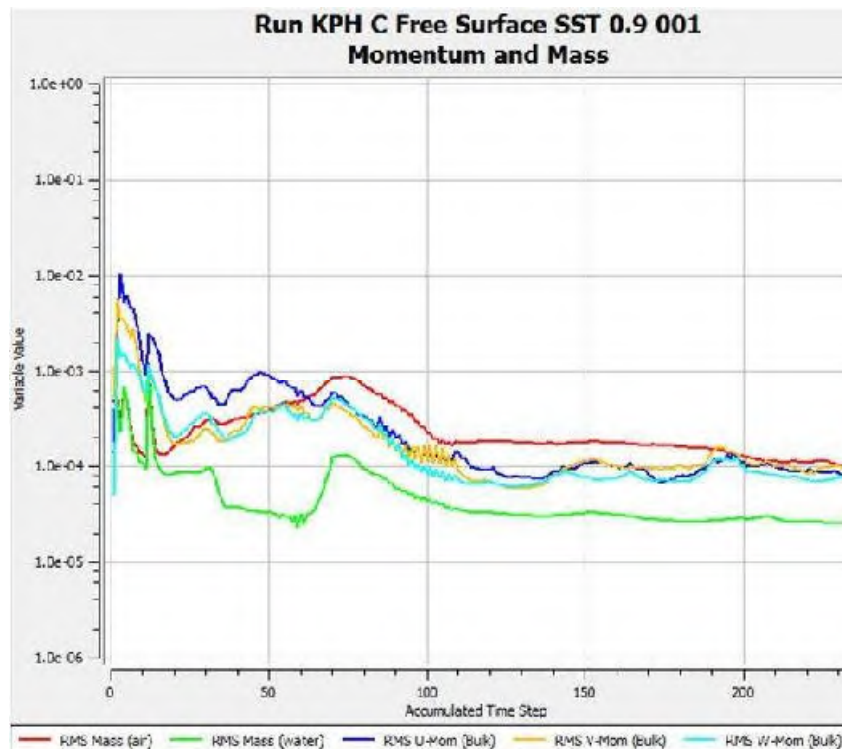
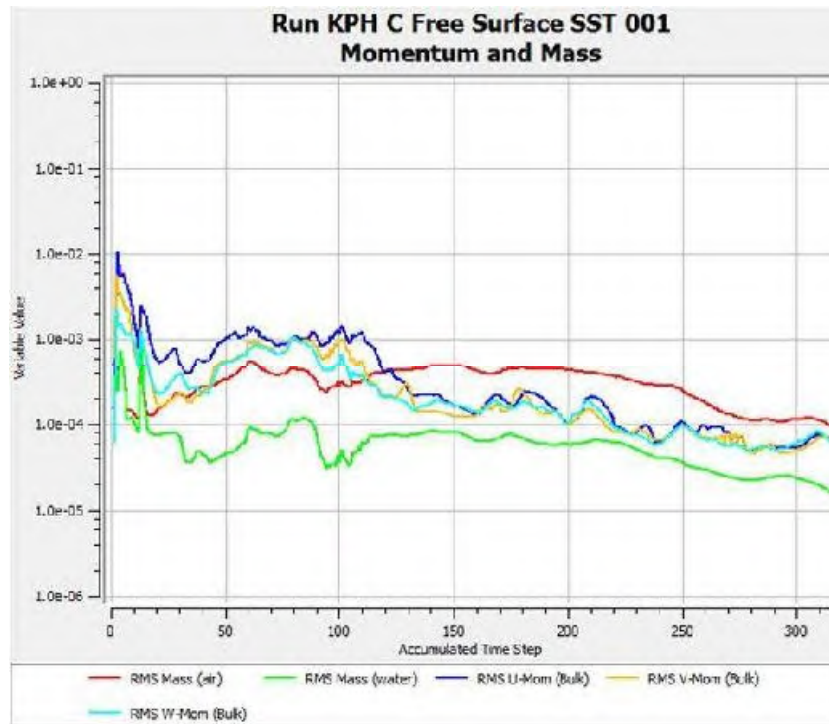
## MODEL B



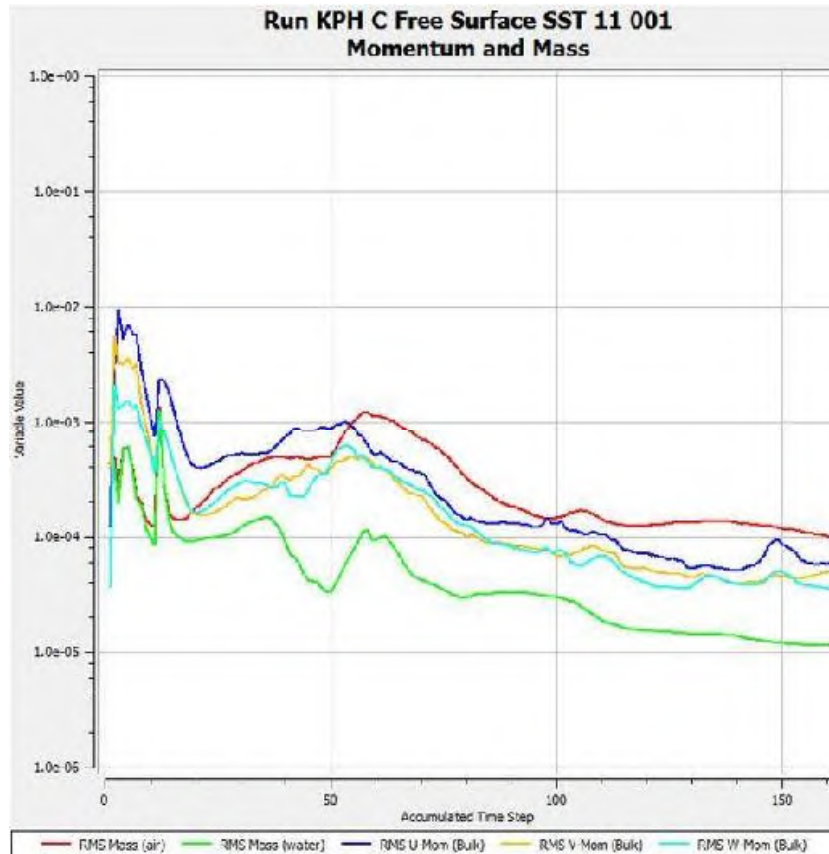
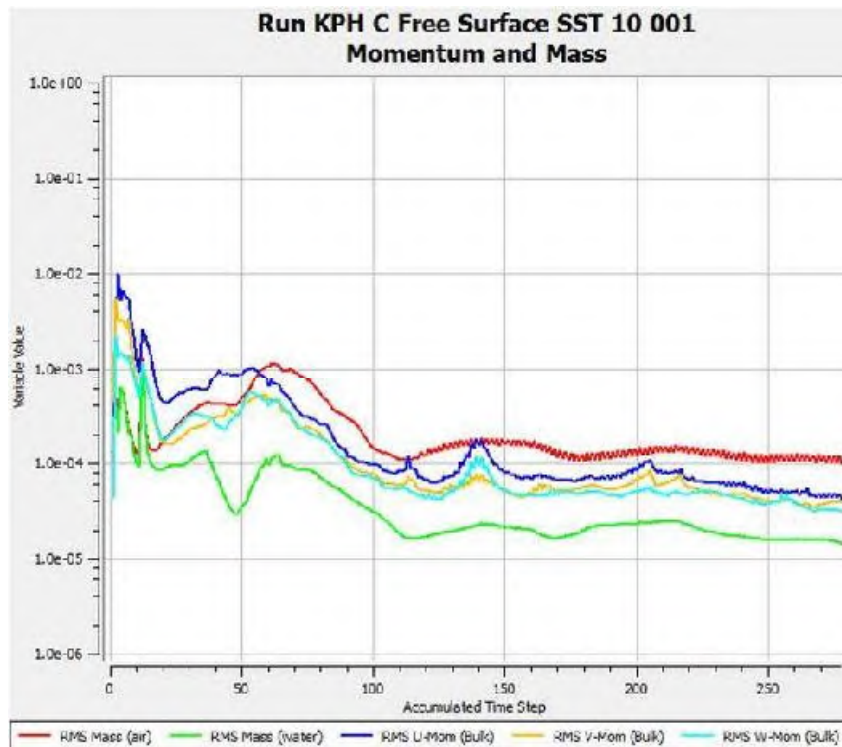


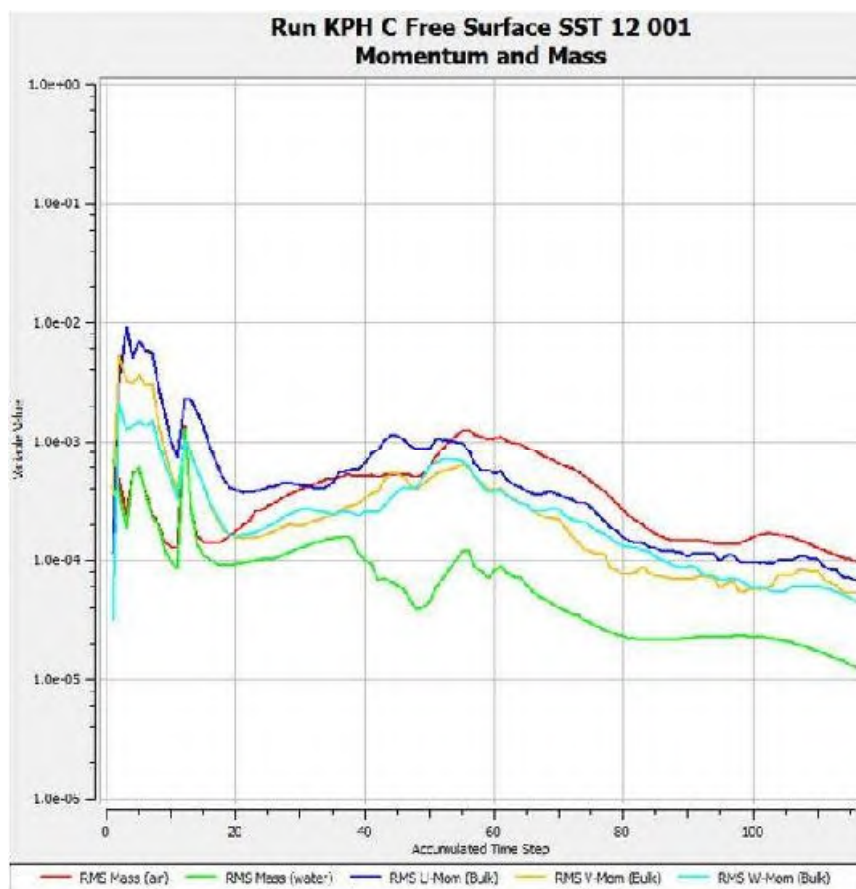
# KONFERGENSI KAPAL CEPAT *HYDROFOIL*

## MODEL C









## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Pengujian dengan menggunakan *Software CFD* dapat dilakukan pada model kapal cepat *hydrofoil* karena hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menganalisa besar *lift force* dan *drag force* dari sistem *foil*. Bahkan dengan menggunakan *Software CFD*, selisih *lift force* yang dihasilkan *foil* depan dan *foil* belakang dapat diketahui. Adapun kesimpulan dari pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Model turbulensi yang digunakan dalam pengujian kapal cepat *hydrofoil* adalah model turbulensi SST (k-omega SST).
2. Ukuran *foil* yang digunakan pada pengujian model kapal cepat *hydrofoil* adalah *foil* dengan panjang *span* 5 meter, *chord* 1,14 meter, dan apek rasio (AR) 4,40 karena memenuhi kebutuhan *lift* yang dibutuhkan dan memiliki nilai rasio *lift* dan *drag* yang tinggi.
3. Perletakan *foil* belakang ke arah *vertikal* terhadap sarat (T) kapal memberi pengaruh terhadap besarnya *lift force* yang dihasilkan oleh *foil* belakang. Model C menghasilkan *lift force* pada *foil* belakang lebih besar dari Model A dan Model B karena memiliki selisih *lift force* yang paling kecil dibandingkan dengan *lift force* yang dihasilkan *foil* depan.
4. Pada analisa sistem *foil* (*Foil* dan *Strut*), variasi perletakan *foil* belakang ke arah *vertikal* terhadap sarat (T) kapal yang paling optimum adalah Model B dengan jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal 2,23 meter, karena memiliki nilai rasio *Lift/Drag* yang paling tinggi dibandingkan Model A dan Model C.
5. Pada analisa kapal cepat *hydrofoil* (*Foil*, *Strut*, dan Lambung kapal), variasi perletakan *foil* belakang ke arah *vertikal* terhadap sarat (T) kapal yang paling optimum adalah Model B dengan jarak *foil* belakang terhadap sarat kapal 2,23 meter, karena memiliki nilai rasio *Lift/Drag* yang paling tinggi dibandingkan Model A dan Model C.



6. Kapal *Hydrofoil* Model B yang merupakan model yang paling optimum berada pada kondisi *foilborne* pada *froude number* 1,0 (Tabel 5.14) dimana *lift foil belakang* sebesar 104.611,00 Newton dan *foil* depan menghasilkan *lift* sebesar 123.057,00 Newton.
7. Terjadi fenomena hump region pada kapal cepat *hydrofoil* Model C diantara *forude number* 0,9 – 1,1. Tetapi tidak terjadi pada kapal cepat *hydrofoil* Model A dan Model B.

## 6.2 Saran

1. Perlu dilakukan pengujian dengan control kemiringan sudut serang pada kondisi *foil borne* untuk memperoleh posisi sudut serang yang optimum saat take off dan sudut serang saat kondisi *foilborne*, dan kondisi sesaat sebelum *foilborne*.
2. Pengujian CFD menggunakan dynamic mesh dapat menunjukkan perubahan pitch kapal akibat pengaruh pemasangan *hydrofoil* pada lambung kapal. Pada penelitian ini telah coba dilakukan pengujian dengan menggunakan dynamic mesh, namun masih menemui kendala terutama dalam tahap mengupload **file 6dof** (file yang menjadi acuan dari system untuk membaca ferak translasi model di sumbu X dan rotasi model di sumbu Z).

## DAFTAR PUSTAKA

- Besnard, E., Hefazi, Schmitz, dan Kurai. "Hydrofoil design and optimization for fast ships." ASME 1998.
- Borbye, J., dan Baek, P. "Hydrofoil Vessel Design (Final Assignment, Course 41220)". 18 Desember 2006.
- Chen, Y., Fan, B., Chen, dan Li. "Influences of Lorentz force on the hydrofoil lift." *Acta Mech. Sin.* 25: (2009) 589–595.
- Chung, T. J.. 2002. "Computational Fluid Dynamics". Cambridge University Press.
- Du Cane P. 1974. "High Speed Small Craft". David and Charles, Newton Abbot.
- Faltinsen, Odd M. 2005. "Hydrodynamics of High Speed Marine Vehicles". Cambridge University Press.
- International Towing Tank Conference (ITTC). "Practical Guidelines for Ship CFD Application". ITTC-Recommended Procedures and Guidelines 7.5-03-02-03 2011.
- Latorre, R., dan Teerasin, S. "Calculation of hydrofoil craft take-off speed including influence of foil size, foil angle and propeller shaftangle." *Ocean Engineering* 9, 2: (1992) 183–197.
- Mordhorst, C. J. "Investigation of Open Source CFD Software on Shipyards". Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology. Report No. X-11/262. 2011.
- Putnam N., Dickert G., dan Wagner C., "On the Design, Construction, and Testing of a Fully-Submerged Canard Hydrofoil System for a Low-Speed solar boat". International Hydrofoil Society, (2014,june).
- Saputro S.A. dan Suastika K., "Kajian Eksperimental Pengaruh Posisi Perletakan Hydrofoil Pendukung Terhadap Hambatan Kapal". *Jurnal Teknik ITS*, (2012,sept).
- Yousefi, R., Shafaghat, R., dan Shakeri, M. "Hydrodynamic Analysis Techniques for High Speed Planning Hulls." *Ocean Research* 42: (2013) 105-113.

## BIOGRAFI PENULIS



Apriansyah bin Abdul Azis bin Muhammad Ali lahir di kota Majene, Sulawesi Barat pada Tanggal 20 April 1986. Anak kedua dari tiga bersaudara, pasangan Abdul Azis dan Nurhayati Hamzah ini menghabiskan masa kecilnya di kota Pinrang Sulawesi Selatan. Ayahnya seorang guru dan ibunya adalah perawat.

Tahun 1998, tamat pendidikan dasar di SD Negeri No. 16 Pinrang, tahun 2001 beliau menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SLTP Negeri 1 Pinrang dan memilih melanjutkan pendidikan di SMA Negeri 1 Pinrang pada Jurusan MIPA, lulus pada tahun 2004. Kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di Program Studi Teknik Sistem Perkapalan, Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar, dengan konsentrasi keilmuan sistem kelistrikan dan kendali. Selama masa studi, ikut aktif dalam dunia konsultan teknik, dengan bergabung pada perusahaan jasa konsultan CV Azzuri Engineering Tahun 2010, CV. Array Konsultan pada tahun 2011 sampai dengan saat ini, disinilah ia banyak menambah ilmu desain teknik dari pengalaman langsung di lapangan sebagai *Inspector* dan *Surveyor*. Dalam bidang Perkapalan Beliau juga aktif melakukan pengembangan desain teknik di bidang industri pembangunan kapal berbahan FRP pada PT. Siagan Boat Makassar pada tahun 2010 sampai dengan sekarang

Atas berkat rahmat Allah SWT, tahun 2011 ia menyelesaikan masa studinya dan mendapatkan gelar Sarjana Teknik dengan IPK 3,14. Awal tahun 2013 diberi kesempatan untuk mengikuti seleksi calon dosen di Universitas Sulawesi Barat dan ditugaskan untuk melanjutkan studi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, melalui jalur beasiswa Pra-Sainstek 2013. Tahun 2014, beliau resmi diterima sebagai Mahasiswa Program Pasca Sarjana Teknologi Kelautan, ITS pada Jurusan Teknik Produksi dan Material Kelautan / Teknik Perkapalan, dengan bidang keahlian hidrodinamika Kapal.